

DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA COMO  
HERRAMIENTA DE CAPACITACIÓN, DISEÑO Y PLANEACIÓN EN UNA  
LINEA DE EXTRUSIÓN DE TUBERÍA PVC, CON BASE EN LA LIBRERÍA  
ARTOOLKIT

LEIDY TATIANA UINTACO SIERRA  
MARIA DEL PILAR VELEZ GUTIERREZ  
WILLIAM CAMILO OTALORA MANCILLA

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA  
BOGOTÁ D.C.  
2016

DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA COMO  
HERRAMIENTA DE CAPACTACIÓN, DISEÑO Y PLANEACIÓN EN UNA LINEA  
DE EXTRUSIÓN DE TUBERIA PVC, CON BASE EN LA LIBRERÍA ARTOOLKIT

LEIDY TATIANA UINTACO SIERRA  
MARÍA DEL PILAR VÉLEZ GUTIÉRREZ  
WILLIAM CAMILO OTALORA MANCILLA

MONOGRAFÍA DE TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO MECATRÓNICO

Profesor Orientador  
ING. MS.C RUBÉN DARÍO HERNÁNDEZ BELEÑO MSC. PH.D (C)

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA  
BOGOTA D.C.  
2016

Nota de aceptación

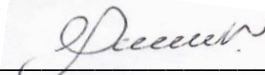
El trabajo de grado titulado **“DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA COMO HERRAMIENTA DE CAPACITACIÓN, DISEÑO Y PLANEACION EN UNA LINEA DE EXTRUSIÓN DE TUBERIA PVC, CON BASE EN LA LIBRERÍA ARTOOLKIT”**, elaborado por los estudiantes **Leidy Tatiana Uintaco Sierra, María del Pilar Vélez Gutiérrez y William Camilo Otálora Mancilla**, como requisito parcial para optar al título de ingeniero mecatrónico, fue aprobado por el jurado calificador.



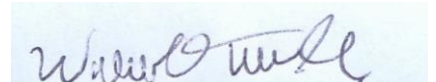
Rubén Darío Hernández Beleño  
Director de Tesis.



Leidy Tatiana Uintaco Sierra



María Del Pilar Vélez Gutiérrez



William Camilo Otálora Mancilla

Bogotá D.C. 20 de junio de 2016

## **DEDICATORIA**

Esta tesis está dedicada a mis padres, quienes se encargaron de darme las herramientas necesarias, no solo económicas sino también a nivel personal para poder para poder culminar con éxito mi carrera de Ingeniería.

*Leidy Tatiana Uintaco Sierra*

Este trabajo está dedicado a mi padre, quien dispuso su tiempo para brindarme amor, sabiduría y apoyo en los años que Dios le permitió acompañarme en mi formación como persona, y a pesar de no contar con su presencia en la culminación de esta etapa, mi vida está marcada con su recuerdo.

*María del Pilar Vélez Gutiérrez*

Dedico este trabajo a mi madre y a mi padre quienes son las personas que me han apoyado durante toda mi vida y en este proceso para poder cumplir un sueño. Sus enseñanzas, consejos y apoyo fueron determinantes a lo largo de mi carrera y ser la persona que soy. También dedico este trabajo a mis hermanas quienes me ayudaron de una u otra forma para salir adelante.

*William Camilo Otálora Mancilla*



## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mis padres por su apoyo incondicional y acompañamiento constante a lo largo de estos años, de igual forma a los Ingenieros que fueron mis tutores a lo largo de la carrera, transmitiéndome sus valiosos conocimientos con paciencia y dedicación, permitiéndome así formarme como profesional y como persona para poder aportar lo mejor de mí en la etapa que está por venir.

*Leidy Tatiana Uintaco Sierra*

Agradezco en primer lugar a Dios, por brindarme sabiduría, conocimiento e ímpetu para no desfallecer en el proceso que me llevo a culminar esta etapa de mi formación; a mi madre, por su infinito amor y apoyo incondicional, por ser un modelo intachable que me ha servido de inspiración y finalmente a mis padrinos por su apoyo incondicional, el cual he tenido toda mi vida. Igualmente agradezco a la empresa Tecnosa por habernos permitido ingresar a las instalaciones de su planta de extrusión de tubería PVC, para tomar los modelos de sus máquinas como base para el desarrollo de este trabajo.

*María del Pilar Vélez Gutiérrez*

Agradezco a mis padres, hermanas y mis dos abuelas que siempre serán un gran apoyo durante mi vida, agradezco su confianza depositada en mí para sacar mi carrera adelante y agradezco por su incondicional acompañamiento a lo largo de mi vida. Agradezco al ingeniero Rubén Hernández por confiar en nuestro trabajo y confiar que podíamos lograrlo a pesar de las adversidades y por ultimo agradezco a cada persona por su apoyo moral y su ayuda en mi vida personal, académica y profesional.

*William Camilo Otálora Mancilla*

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1 INTRODUCCIÓN .....	19
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
1.1.1 Descripción del problema.....	20
1.1.2 Formulación del problema.....	21
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	22
1.3 ESTADO DEL ARTE.....	24
1.4 OBJETIVOS .....	34
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	35
1.6 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DEL PROGRAMA.....	35
1.7 DISEÑO METODOLÓGICO .....	35
2 MARCO REFERENCIAL.....	39
2.1 MARCO TEÓRICO .....	39
2.1.1 Realidad aumentada .....	39
2.1.2 Realidad Virtual .....	40
2.1.3 Diseño Asistido por Computador (CAD) .....	41
2.1.4 ARToolKit .....	47
2.1.5 Microsoft Visual Studio .....	47
2.1.6 Fabricación de tubos de PVC.....	49
2.2 MARCO LEGAL.....	77
2.2.1 Seguridad Industrial .....	77
2.2.2 Licenciamiento de Software .....	78
3 MODELAMIENTO DEL SISTEMA.....	81
3.1 MODELAMIENTO VIRTUAL DE LAS MÁQUINAS EN BLENDER .....	81
3.1.1 Extrusora de PVC.....	82
3.1.2 Sistema de Refrigeración .....	86
3.1.3 Carro de arrastre de tubos .....	87

3.1.4	Sierra.....	90
3.1.5	Acampanadora de tubería PVC.....	93
3.2	ANIMACIÓN DE LOS MODELOS EN 3D .....	96
3.2.1	Anexado de bibliotecas .blend en un único archivo.....	97
3.2.2	Animación.....	99
3.2.3	Formato de visualización de reproductor.....	100
3.3	TEXTURIZADO DEL OBJETO POR MEDIO DEL MAPEADO UV .....	102
3.4	CREACIÓN DE PANTALLAS DE AYUDA PARA LOS OPERARIOS .....	105
4	VISIÓN ARTIFICIAL.....	107
4.1	CONCEPTOS TEÓRICOS GENERALES .....	108
4.1.1	Imagen digital .....	108
4.1.2	Espectro visible .....	109
4.2	OJO HUMANO .....	110
4.3	CÁMARA .....	112
4.4	IMÁGENES PROCESADAS POR UN ORDENADOR.....	114
4.4.1	Imágenes binarias .....	114
4.4.2	Escala de grises .....	115
4.4.3	Imágenes indexadas .....	115
4.4.4	Imágenes RGB (red, green, blue) .....	116
4.5	FILTRADO DE IMÁGENES DIGITALES .....	117
4.5.1	Procesos de filtrado.....	117
4.5.2	Filtrado en el dominio del espacio .....	117
4.5.3	Filtrado en el dominio de la frecuencia .....	117
4.6	CONFIGURACIÓN DE UN SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL .....	118
4.7	APLICACIONES DE LA VISIÓN ARTIFICIAL .....	120
5	PROPUESTA DEL ALGORITMO DE REALIDAD AUMENTADA.....	123
5.1	DISEÑO DEL ALGORITMO PARA LA VISUALIZACIÓN DE IMÁGENES Y ANIMACIÓN 3D.....	123
5.1.1	Formato OREJ y PPM.....	124
5.1.2	Script de exportación para el formato OREJ .....	125

5.1.3	Exportación de texturas en formato PPM .....	127
5.1.4	Importando los modelos desde Visual Studio.....	127
5.1.5	Haciendo Realidad Aumentada.....	132
5.2	DISEÑO DE MARCADORES .....	134
5.3	DISEÑO DE INTERFAZ GRÁFICA DE LA APLICACIÓN.....	136
5.3.1	inicio .....	137
5.3.2	Máquinas.....	138
5.3.3	Línea .....	139
5.3.4	Ayuda .....	140
5.4	LIBRERÍAS DEL ALGORITMO.....	144
5.4.1	Librerías utilizadas dentro de la aplicación.....	144
5.4.2	Tipo de librerías utilizadas dentro del algoritmo .....	145
5.5	MODELO MATEMÁTICO DE LAS TRANSFORMACIONES GEOMÉTRICAS USANDO LA REPRESENTACIONES MATRICIALES.....	146
5.5.1	Traslación.....	147
5.5.2	Rotación .....	147
5.5.3	Escalado.....	150
5.5.4	Translación.....	151
5.5.5	Rotación .....	151
5.5.6	Escala.....	152
6	INTEGRACIÓN Y RESULTADOS.....	155
6.1	VALIDACIÓN DEL SISTEMA MECATRÓNICO PROYECTADO.....	155
6.1.1	Validación de máquinas modeladas en Blender Vs Máquinas reales .....	156
6.1.2	Validación de animación Vs Proceso real .....	163
6.1.3	Validación del formato OREj y texturas en formato ppm (mapeado UV). .....	165
6.1.4	Validación del marcador. ....	165
6.1.5	Validación de interfaz gráfica de aplicación.....	170
7	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS .....	181

7.1 CONCLUSIONES .....	181
7.2 TRABAJOS FUTUROS .....	182
REFERENCIAS .....	183
ANEXO A. TUTORIAL DE INSTALACION DE ARTOOLKIT Y OPENGL .....	190
ANEXO B. MANUAL DE USUARIO.....	202
ANEXO C RUTINA CARGAR TEXTURA .....	208
ANEXO D RECONSTRUIR OBJETO .....	209
ANEXO E DESPLEGAR OBJETO.....	210

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Incremento del precio Retrofit vs. Equipo obsoleto .....	23
<b>Figura 2.</b> Dispositivo KARMA .....	25
<b>Figura 3.</b> Visualización de instrucciones para el motor mediante eKurzinfo. ....	26
<b>Figura 4.</b> Sistema ARMAR .....	28
<b>Figura 5.</b> Ensamblaje de piezas de maquinaria con ayuda de la RA .....	29
<b>Figura 6.</b> Quitar el filtro principal .....	29
<b>Figura 7.</b> Dispositivo para la formación de soldadores.....	30
<b>Figura 8.</b> Pre visualización de una instalación utilizando Visuartech .....	31
<b>Figura 9.</b> Realidad aumentada en un auto de BMW .....	33
<b>Figura 10.</b> Sistema de visualización en Realidad aumentada de Ford.....	33
<b>Figura 11.</b> Proceso informático en un sistema de Realidad Aumentada .....	40
<b>Figura 12.</b> Realidad virtual en los videojuegos.....	41
<b>Figura 13.</b> Comparación entre imagen 3D e imagen renderizada.....	47
<b>Figura 14.</b> Proceso de elaboración del PVC .....	49
<b>Figura 15.</b> Tolva de alimentación .....	50
<b>Figura 16.</b> Aproximación de la tolva a un contenedor cilíndrico .....	51
<b>Figura 17.</b> Partes de la extrusora .....	52
<b>Figura 18.</b> Cambio de presión a través de las diferentes zonas del husillo.....	52
<b>Figura 19.</b> Corte transversal de la extrusora .....	53
<b>Figura 20.</b> Variables que actúan sobre el Husillo .....	53
<b>Figura 21.</b> Canal dentro del cual actúa el Husillo .....	54
<b>Figura 22.</b> Velocidad del flujo de arrastre.....	55
<b>Figura 23.</b> Velocidad del flujo de presión .....	56
<b>Figura 24.</b> Velocidad del flujo total .....	56
<b>Figura 25.</b> Corte del husillo a lo largo de su eje .....	57
<b>Figura 26.</b> Recta de operación de un husillo .....	58
<b>Figura 27.</b> Cambio de presión a través de las diferentes zonas del cabezal ....	60
<b>Figura 28.</b> Gráfica caudal vs presión.....	60
<b>Figura 29.</b> Forma de la boquilla.....	61
<b>Figura 30.</b> Hinchamiento por la relajación de sección cuadrada .....	61
<b>Figura 31.</b> Potencia de extrusión y potencia de arrastre .....	63
<b>Figura 32.</b> Vista lateral y frontal de las orugas .....	64
<b>Figura 33.</b> Movimiento de la cadena sobre la rueda dentada .....	67
<b>Figura 34.</b> Esfuerzos durante el engrane de la cadena en la rueda.....	69
<b>Figura 35.</b> Gráfica Coeficiente K1 .....	72

<b>Figura 36.</b> Gráfica Coeficiente K2 .....	72
<b>Figura 37.</b> Gráfica Coeficiente K3 .....	73
<b>Figura 38.</b> Tabla Coeficiente K5.....	75
<b>Figura 39.</b> Flujo del material.....	76
<b>Figura 40.</b> Ambiente de desarrollo de BLENDER .....	81
<b>Figura 41.</b> Proceso de modelamiento de las máquinas Extrusora y sierra en el ambiente BLENDER .....	82
<b>Figura 42.</b> Vistas isométricas. Extrusora de tubos de PVC Kabra .....	83
<b>Figura 43.</b> Husillo doble .....	84
<b>Figura 44.</b> Sistema de alimentación .....	84
<b>Figura 45.</b> Pantalla de supervisión .....	85
<b>Figura 46.</b> Conexión de termocuplas y resistencia.....	85
<b>Figura 47.</b> Motor Principal y caja reductora de la extrusora .....	86
<b>Figura 48.</b> Vistas isométricas. Sistema de refrigeración Kabra .....	87
<b>Figura 49.</b> Carro de arrastre de tubos kabra .....	88
<b>Figura 50.</b> Panel de control-tablero eléctrico.....	89
<b>Figura 51.</b> Oruga de arrastre.....	89
<b>Figura 52.</b> Sistema de separación de orugas.....	90
<b>Figura 53.</b> Vistas isométricas de la sierra .....	91
<b>Figura 54.</b> Carro con Sierra.....	92
<b>Figura 55.</b> Sistema de arrastre o de desplazamiento lineal .....	92
<b>Figura 56.</b> Extractor.....	93
<b>Figura 57.</b> Vistas isométricas acampanadora .....	94
<b>Figura 58.</b> Cilindros neumáticos con acoples.....	94
<b>Figura 59.</b> Hornos por calentamiento infrarrojo .....	95
<b>Figura 60.</b> Mordaza para acampanado de tubo .....	95
<b>Figura 61.</b> Sistema neumático y su gabinete .....	96
<b>Figura 62.</b> Sistema mecánico para arrastre y lineamiento de tubos.....	96
<b>Figura 63.</b> Anexo de bibliotecas .blend .....	97
<b>Figura 64.</b> Selección de atributos de la biblioteca de extensión .blend.....	98
<b>Figura 65.</b> Anexado de bibliotecas finalizada .....	98
<b>Figura 66.</b> Línea de tiempo en Blender .....	99
<b>Figura 67.</b> Formato de imagen o video a guardar .....	101
<b>Figura 68.</b> Video secuence editor.....	101
<b>Figura 69.</b> Consolidación del video .....	102
<b>Figura 70.</b> Pantalla para edición del mapeado UV .....	103
<b>Figura 71.</b> Pantalla para edición del mapeado UV.....	104
<b>Figura 72.</b> Mapeado UV de la Acampanadora .....	104

<b>Figura 73.</b> Acampanadora con información relevante para capacitación de personal .....	105
<b>Figura 74.</b> Diagrama proceso operativo .....	107
<b>Figura 75.</b> Muestra de una imagen con su respectiva matriz de píxeles.....	108
<b>Figura 76.</b> Espectro electromagnético y luz visible .....	109
<b>Figura 77.</b> Anatomía del ojo humano .....	110
<b>Figura 78.</b> Funcionamiento del sentido de la vista .....	112
<b>Figura 79.</b> Mosaico de Bayer .....	113
<b>Figura 80.</b> Funcionamiento de una cámara.....	113
<b>Figura 81.</b> Imagen Binaria.....	114
<b>Figura 82.</b> Imagen en escala de grises .....	115
<b>Figura 83.</b> Imagen indexada.....	116
<b>Figura 84.</b> Imagen RGB .....	116
<b>Figura 85.</b> Ejemplo de filtro, bordes resaltados .....	118
<b>Figura 86.</b> Sistema de formación de imágenes .....	119
<b>Figura 87.</b> Subsistemas de un equipo de visión artificial.....	120
<b>Figura 88.</b> Formato de intercambio Blender-OpenGL .....	124
<b>Figura 89.</b> Dinámica del formato OREj y pmm. ....	125
<b>Figura 90.</b> Objeto en polígonos triangulares .....	126
<b>Figura 91.</b> Las letras v, f y t, almacenan las coordenadas de los vértices, la definición de las caras con los vértices que la conforman y la descripción de las coordenadas UV, respectivamente .....	126
<b>Figura 92.</b> Exportación de textura en formato png a formato ppm desde GIMP .....	127
<b>Figura 93.</b> Fragmento de código de la biblioteca para el objeto de formato OREj. Estructura que define las características para un objeto OREj.....	128
<b>Figura 94.</b> Mapeado de textura .....	128
<b>Figura 95.</b> Fragmento de código .....	129
<b>Figura 96.</b> Fragmento de código para cargar la textura .....	130
<b>Figura 97.</b> Fragmento de código .....	130
<b>Figura 98.</b> Instrucción que indexa los vértices del objeto a las coordenadas x, y, z y posteriormente los asocia al objeto (OREjObjeto *obj) .....	131
<b>Figura 99.</b> Ciclo en el cual se indexa para cada cara triangular un valor UV y luego a cada conjunto de vértices una cara.....	131
<b>Figura 100.</b> Funciones de OpenGL que despliegan el objeto .....	132
<b>Figura 101.</b> Detección e identificación de marcas de ARToolKit.....	133
<b>Figura 102.</b> Patrón de 48 cm x 48 cm para la aplicación de realidad aumentada como herramienta de capacitación, diseño y planeación en una línea de extrusión de tubería PVC .....	134



<b>Figura 103.</b> Reconocimiento del marcador por ARToolKit .....	135
<b>Figura 104.</b> Marcador salvado.....	135
<b>Figura 105.</b> Logo. Aplicación de realidad aumentada como herramienta de capacitación, diseño y planeación en una línea de extrusión de tubería PVC .	137
<b>Figura 106.</b> Pestaña Inicio .....	137
<b>Figura 107.</b> Pestaña Máquinas - Extrusora.....	138
<b>Figura 108.</b> Máquinas disponibles en la pestaña Máquinas (Tanque de refrigeración y Carro de arrastre).....	139
<b>Figura 109.</b> Máquinas disponibles en la pestaña Máquinas Sierra y acampanadora).....	139
<b>Figura 110.</b> Pestaña Línea .....	140
<b>Figura 111.</b> Pestaña ayuda para la Tolva de la Extrusora. ....	140
<b>Figura 112.</b> Pestaña Ayuda para el cilindro de la extrusora.....	141
<b>Figura 113.</b> Pestaña Ayuda para molde de la extrusora. ....	141
<b>Figura 114.</b> Pestaña ayuda para tanque de refrigeración. ....	142
<b>Figura 115.</b> Pestaña ayuda para la potencia de arrastre del puller. ....	142
<b>Figura 116.</b> Pestaña ayuda para la velocidad de arrastre del puller. ....	142
<b>Figura 117.</b> Pestaña ayuda para la velocidad de arrastre de la sierra. ....	143
<b>Figura 118.</b> Pestaña ayuda para el esfuerzo de arrastre de la sierra.....	143
<b>Figura 119.</b> Piezas de acampanado y de desplazamiento de la acampanadora. ....	144
<b>Figura 120.</b> Traslación .....	147
<b>Figura 121.</b> Rotación eje z .....	148
<b>Figura 122.</b> Rotación eje y .....	149
<b>Figura 123.</b> Rotación eje x .....	149
<b>Figura 124.</b> Escalado .....	150
<b>Figura 125.</b> Etapas de desarrollo de la aplicación.....	155
<b>Figura 126.</b> Etapa de diseño e implementación de la aplicación de realidad aumentada.....	156
<b>Figura 127.</b> Extrusora Virtual vs Extrusora real.....	157
<b>Figura 128.</b> Extrusora con molde .....	157
<b>Figura 129.</b> Cilindro.....	158
<b>Figura 130.</b> Conexión de termocuplas y resistencias.....	158
<b>Figura 131.</b> Sistema de alimentación .....	159
<b>Figura 132.</b> Tanque de refrigeración .....	159
<b>Figura 133.</b> Puller Virtual vs Puller real .....	160
<b>Figura 134.</b> Sierra (Sistema de corte) .....	160
<b>Figura 135.</b> Extractor.....	161
<b>Figura 136.</b> Sistema de arrastre mecánico y lineamiento de los tubos .....	161

<b>Figura 137.</b> Acampanadora.....	162
<b>Figura 138.</b> Hornos por calentamiento infrarrojo y Cilindros neumáticos con acoples .....	162
<b>Figura 139.</b> Secuencia de animación de la extrusora. ....	163
<b>Figura 140.</b> Secuencia de animación del tanque de refrigeración.....	163
<b>Figura 141.</b> Secuencia de animación del carro de arrastre.....	164
<b>Figura 142.</b> Secuencia de animación de la sierra. ....	164
<b>Figura 143.</b> Secuencia de animación de la acampanadora. ....	164
<b>Figura 144.</b> Archivos OREj y ppm de la aplicación .....	165
<b>Figura 145.</b> Detección de marcadores .....	166
<b>Figura 146.</b> Relación de distancias para marcador - cámara.....	166
<b>Figura 147.</b> Prueba #1 reconocimiento de marcador con logo de aplicación..	167
<b>Figura 148.</b> Prueba #2 reconocimiento de marcador con logo de aplicación..	168
<b>Figura 149.</b> Prueba #3 reconocimiento de marcador con logo de aplicación..	168
<b>Figura 150.</b> Prueba #4 reconocimiento de marcador con logo de aplicación.	169
<b>Figura 151.</b> Prueba #5 reconocimiento de marcador con logo de aplicación..	169
<b>Figura 152.</b> Prueba #6 reconocimiento de marcador con logo de aplicación..	170
<b>Figura 153.</b> Proceso de Realidad Aumentada.....	171
<b>Figura 154.</b> Ingreso a la aplicación .....	171
<b>Figura 155.</b> Opción de la aplicación con funciones de realidad aumentada ...	172
<b>Figura 156.</b> Prueba #1 proyección para extrusora. ....	173
<b>Figura 157.</b> Prueba #1 proyección para carro de arrastre.....	174
<b>Figura 158.</b> Prueba #1 proyección para sierra. ....	174
<b>Figura 159.</b> Prueba #1 proyección para acampanadora. ....	175
<b>Figura 160.</b> Prueba #1 proyección para tanque de refrigeración. ....	175
<b>Figura 161.</b> Prueba #2 proyección para extrusora. ....	176
<b>Figura 162.</b> Prueba #2 proyección para carro de arrastre.....	177
<b>Figura 163.</b> Prueba #2 proyección para sierra. ....	177
<b>Figura 164.</b> Prueba #2 proyección para acampanadora. ....	178
<b>Figura 165.</b> Prueba #2 proyección para tanque de refrigeración. ....	178
<b>Figura 166.</b> Secuencia de animación en RA de la extrusora. ....	179
<b>Figura 167.</b> Secuencia de animación en RA del Tanque de refrigeración .....	179
<b>Figura 168.</b> Secuencia de animación en RA del carro de arrastre.....	180
<b>Figura 169.</b> Secuencia de animación en RA de la sierra .....	180
<b>Figura 170.</b> Secuencia de animación en RA de Acampanadora.....	180

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Tabla comparativa de programas CAD.....	42
<b>Tabla 2.</b> Valores típicos .....	59
<b>Tabla 3.</b> Tabla Coeficiente K4 .....	73
<b>Tabla 4.</b> Dimensiones de la Extrusora.....	83
<b>Tabla 5.</b> Dimensiones del sistema de refrigeración .....	86
<b>Tabla 6.</b> Dimensiones de Carro de Arrastre .....	88
<b>Tabla 7.</b> Dimensiones de la Sierra.....	90
<b>Tabla 8.</b> Dimensiones Acampanadora.....	93
<b>Tabla 9.</b> Datos para prueba de reconocimiento del marcador .....	167
<b>Tabla 10.</b> Datos para prueba #1 de proyección de máquinas. ....	173
<b>Tabla 11.</b> Datos para prueba #2 de proyección de máquinas. ....	176
<b>Tabla 12.</b> Datos para validación de animación. ....	179

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. TUTORIAL DE INSTALACION DE ARTOOLKIT Y OPENGL .....	190
ANEXO B. MANUAL DE USUARIO .....	202
ANEXO C RUTINA CARGAR TEXTURA .....	208
ANEXO D RECONSTRUIR OBJETO .....	209
ANEXO E DESPLEGAR OBJETO .....	210

## RESUMEN

La competitividad en las empresas está sujeta a la calidad y la cantidad de producción: factores que dependen directamente del mantenimiento de equipos; personal capacitado y una adecuada distribución de maquinaria dentro de sus instalaciones; componentes con los cuales se quiere evitar daños a los equipos, errores en el manejo de los mismos o fallas en los planos de diseño de distribución de espacios, a falta de visualización de modificaciones relacionados con las características del lugar, que conllevan a errores en la producción o accidentes laborales, que finalmente representan pérdidas económicas a la empresa.

Por lo anterior, para el desarrollo de este trabajo se ha tomado como punto de referencia la industria de tuberías de PVC, ya que es una industria dinámica, innovadora y tecnificada, que genera miles de empleos alrededor del mundo.

La aplicación de realidad aumentada como herramienta de capacitación, diseño y planeación, tiene como objetivo mejorar la distribución de maquinaria en plantas de producción; disminuir la inversión económica por medio de la selección de maquinaria adecuada, mantenimientos y/o actualizaciones de equipos; además de la capacitación al personal.

Para ello, se presenta en primera instancia los trabajos más relevantes que se han llevado a cabo en materia de realidad aumentada con el fin de conocerlos y tomarlos como fundamento teórico para el desarrollo del presente trabajo de grado; en segundo lugar, en capítulos posteriores se explica el proceso de extrusión de tubos de PVC y finalmente, el desarrollo de la aplicación de realidad aumentada con la que se quiere hacer modificaciones sobre líneas de extrusión de PVC, teniendo en cuenta las técnicas sobre distribución de planta y mejoramiento de equipos, con el fin optimizar espacio y mejorar la producción de la empresa.

**Palabras Clave:** ARToolKit, capacitación, modelamiento virtual, realidad aumentada, visión artificial

## ABSTRACT

The competitive of enterprises is based in quality and output quantity, there are factors which are directly related to maintenance of equipment, trained staff and the adequate distribution of machinery within his installations. Components of which we want to avoid damages in machinery, mistakes in their handling or faults of visualization of related changes with the characteristics of the place, leading to errors in production or occupational accidents, finally represent business losses to the company.

Consequently, for the development of this work has been used as a benchmark the PVC industry, because it is a dynamic industry, innovative and technical, generates thousands of jobs worldwide.

The augmented reality application as tool of training, design and planning, have as objective improve the distribution of machinery in production plants; reduce the economic investment through the sections of machinery appropriate, maintenance and/or equipment updated also the trained staff.

To this end, it is present in first instance, the works more important that have developed about augmented reality with the purpose of know it and take it as theoretical foundation for the development of the present degree project. Secondly, in subsequent chapters is explained the process of extrusion PVC tubes, and finally, the development of the application of augmented reality, which we want to make modifications PVC extrusion lines. Take into consideration the techniques of distribution factory and improve equipment, in order to optimize space and improve the enterprise production.

**Keywords:** ARToolKit, training, virtual modeling, augmented reality, artificial vision.

# 1 INTRODUCCIÓN

Uno de los propósitos en el desarrollo continuo de nuevas tecnologías es poder cambiar la forma en que el usuario percibe su entorno, para así posibilitar una experiencia más completa y agradable, facilitando el entendimiento de procesos y brindándole acceso a toda la información que este requiera.

Una de estas nuevas tecnologías de visualización en desarrollo es conocida como realidad aumentada, cuya flexibilidad, brinda un sinfín de posibilidades para que pueda ser aplicada en diversos campos, como lo son: La industria, medicina, educación, publicidad, entre otras. Esta tecnología tiene como base integrar un entorno virtual (que es el que se genera a través de software de computación), a un entorno real. Esto con el fin de enriquecer una experiencia, mejorando así la calidad de la comunicación, haciendo que esta nueva realidad sea más didáctica y captando fácilmente la concentración del usuario en diversas tareas dejando infinitud de posibilidades de aplicación.

Este trabajo de grado busca enfocar esta tecnología al sector industrial, teniendo en cuenta que, para que una compañía pueda mantener la competitividad en el mercado es necesario mantener un nivel en cuanto a calidad y productividad, para lo cual se debe actualizar y proyectar el debido mantenimiento a su maquinaria e instalaciones, y así mismo capacitar a su personal para que cumplan adecuadamente con su labor. Lo anterior exige un proceso de Layout (planeación y diseño) a cargo de profesionales calificados, quienes para llevar a cabo esta tarea se pueden apoyar en aplicaciones basadas en realidad aumentada, cuya implementación no es muy compleja, puesto que se vale de dispositivos portátiles, los cuales tienen como único requerimiento contar con una cámara y una pantalla de visualización.

Para exponer la utilidad y las posibilidades de la Realidad Aumentada en la industria, este trabajo toma como base el proceso de extrusión de tubería PVC, ya que es un mercado con mucho dinamismo, en evolución constante y que genera miles de empleos, puesto que la demanda de este tipo de producto es alta y va en incremento. Siendo un mercado llamativo para pequeñas, medianas y grandes empresas.

Además, una de las características de este tipo de proceso es que requiere que varias máquinas trabajen en sincronía para obtener un producto final de calidad, lo cual permite hacer una buena analogía con cientos de procesos de fabricación que igualmente manejan una sincronización de maquinaria en donde se puede implementar la Realidad Aumentada basada en la misma metodología.

Aprovechando la configuración de sensores como giroscopios, brújula, entre otros que vienen incorporados en las tabletas y móviles se logra establecer su posición y orientación en determinado espacio, logrando de esta manera recrear un entorno gráfico que se pueda visualizar en la pantalla de estos dispositivos y en computadores portátiles. Donde se construyen virtualmente las modificaciones o sugerencias que se requieran hacer sobre el proceso, superponiéndolas con la ayuda de la cámara del dispositivo en el entorno real. De igual manera, se propone desarrollar las debidas instrucciones de mantenimiento y operación relacionando el ambiente virtual con la maquinaria real, con el fin de capacitar a los operarios, por medio de la simulación del proceso. Esto permitirá realizar correcciones sobre el diseño, además de disminuir el factor de riesgo presente por intervención humana.

## **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

A continuación se exponen unas de las técnicas o estrategias que utilizan las empresas para mantener un nivel competitivo dentro de la industria por medio de la actualización y mantenimiento de los equipos e instalaciones, además de contar con personal capacitado, presentando la descripción del problema y la formulación del mismo.

### **1.1.1 Descripción del problema**

En la industria se llevan a cabo diferentes técnicas enfocadas a mejorar la productividad y calidad en una empresa, entre estas se encuentran las de Layout<sup>1</sup> y Retrofit<sup>2</sup>, las cuales se centran en la distribución de la planta y el

---

<sup>1</sup> Metodología de Layout. comúnmente utilizada para la resolución de problemas de distribución en planta a partir de criterios cualitativos, aunque fue concebida para el diseño de todo tipo de distribuciones en planta independientemente de su naturaleza. [1]. <http://www.monografias.com/trabajos65/resolucion-distribucion-planta/resolucion-distribucion-planta2.shtml>



mejoramiento de la maquinaria respectivamente, donde el objetivo es la optimización del espacio y renovación de equipos sobre una línea de producción como una solución para incrementar la producción de la planta, la calidad de los productos, disminución de costos y de riesgos laborales, haciendo más competitiva una compañía. La correcta implementación de estas metodologías en las plantas y a su vez la adecuada capacitación del personal son factores que inciden directamente en el buen desempeño de la empresa, y por lo tanto son necesarios para mantener un buen nivel competitivo en la industria.

Como se mencionó anteriormente el mercado de tuberías PVC es muy dinámico y tiene una alta demanda, es por ello que las tareas de actualización y modernización en este tipo de proceso deben ser planeadas y ejecutadas por personal calificado, que a su vez cuenten con las mejores herramientas para llegar a un resultado satisfactorio. Al momento de realizar dicha labor estos deben ofrecer la mayor cantidad de beneficios a sus clientes teniendo en cuenta sus diferentes necesidades.

En este proceso uno de los principales retos es lograr que los dueños de las compañías comprendan con la mayor claridad las modificaciones que deben realizarse y los beneficios que va a representar para la empresa la implementación de un nuevo diseño u organización.

Adicionalmente, aun cuando se han desarrollado los planos en detalle de un nuevo diseño de planta, es posible que en estos no se puedan visualizar fácilmente los errores, ya sean bidimensionales, en acoples o simplemente porque se pasa por alto algún factor externo referente a las características del lugar donde se va a instalar el diseño propuesto, por lo anterior, se establece que en la mayoría de los casos no se podría garantizar un buen funcionamiento en la operación de la maquinaria o que se incurra en errores humanos.

### **1.1.2 Formulación del problema**

¿Cómo implementar estrategias para la actualización de maquinaria y distribución de espacios en una planta de manera precisa y efectiva, incluyendo a su vez capacitación al personal sobre el manejo de cada equipo?

---

<sup>2</sup> El Retrofit o Retrofitting es una técnica de renovación de instalaciones, equipos, maquinaria e incluso vehículos, basada en la actualización de componentes o accesorios más modernos o eficaces que los disponibles, o donde estos no existían. [2]. <http://www.solomantenimiento.com/articulos/Retrofit-Retrofitting.htm>

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

La Realidad Aumentada se ha convertido en una poderosa herramienta para el sector industrial, brindando diversas posibilidades, para las diferentes necesidades de cada compañía. Esta nueva tecnología ya ha sido aplicada por diferentes y reconocidas empresas como BMW que ha decidido incursionar en el mundo de la realidad aumentada desarrollando aplicaciones como la que se ve en el BMW Vision Future Luxury, esta aplicación es un HUD (Head-Up Display) y se encarga de proyectar los datos de interés al conductor directamente en su línea de visión, donde un sistema identifica elementos claves como señales de tráfico, riesgos, la ruta que el usuario debe seguir, límites de velocidad, entre otros, los pone en relieve y crea una realidad aumentada<sup>3</sup>. Ford es una de las compañías que también ha decidido hacer uso de esta tecnología, para mejorar los tiempos de producción de cada operario y para ello ha instalado un sistema de visualización 3D que les permite trasladarse a cada rincón de las cadenas de producción. Sin embargo a pesar de estos avances hay sectores que aún no se han atrevido a seguir los pasos de estas empresas y no han explorado los beneficios que se pueden obtener con las aplicaciones de realidad aumentada, precisamente uno de estos sectores es el de la fabricación de tuberías de PVC.

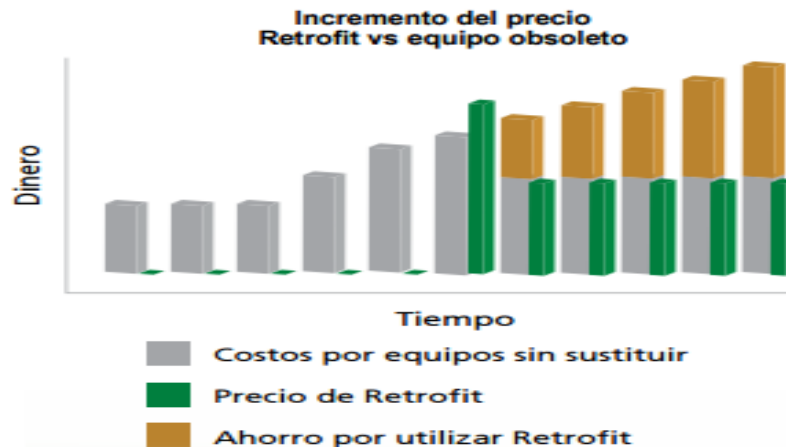
Se sabe que dentro de los procesos de fabricación para conservar la vida útil de la maquinaria y disminuir la inversión económica, es necesario llevar a cabo actualizaciones y/o mantenimientos periódicos a los equipos (Retrofit), ya que el deterioro y mal estado de las máquinas conlleva al aumento de los tiempos muertos, alto consumo de energía, ineficiencia, entre otros. En la Figura 1 se puede ver el ahorro económico que conlleva para las compañías realizar el correcto Retrofit, antes que verse en la obligación de reemplazar la maquinaria<sup>4</sup>.

---

3 Sandra Reyes, BMW con realidad aumentada [online]. Emiliusvgs, 4 mayo 2014 [citado: 17 agosto 2014] [En línea] <<http://emiliusvgs.com/2014/05/04/bmw-presenta-prototipo-auto-realidad-aumentada/>>

4 Ibid., [en línea]

**Figura 1. Incremento del precio Retrofit vs. Equipo obsoleto**



Fuente: CNC Repowering S.A.

*“Como se puede apreciar en el gráfico, antes del Retrofit los costos de producción de un equipo pueden estar en aumento a medida que se deteriora la máquina; por tiempos muertos, ineficiencia, alto consumo de energía, bajas velocidades de trabajo y mantenimientos constantes, entre otros. El reacondicionamiento de la máquina busca solucionar esto y mantener en equilibrio constante los costos de producción”<sup>5</sup>.*

Basados en la información anterior, si consideramos la pérdida total de una máquina de extrusión y su elevado precio en el mercado que oscila alrededor de los 40.000 dólares<sup>6</sup>, además de la pérdida de producción que representa, afectando económicamente a la empresa. Al implementar la realidad aumentada en el proceso de fabricación de tubos de PVC, se reflejarán los beneficios en la disminución de inversiones innecesarias, no sólo para una máquina extrusora, si no en los demás equipos, además de disminuir los riesgos laborales, ya que de acuerdo a las estadísticas entregadas en el 2013 por el ministerio de Salud y Protección Social de Colombia<sup>7</sup>, fueron considerados como accidentes laborales 543.079, muchos de ellos debido al entorno físico. Es por ello que usando la realidad aumentada como herramienta para ejecutar la metodología de Layout, aumentará la seguridad del entorno físico para los operarios.

<sup>5</sup> Ibid., [en línea]

<sup>6</sup> Alibaba, extrusoras de plastico. [online] [En línea] <[http://www.alibaba.com/premium/extrusoras\\_de\\_plastico.html?uptime=20150816&ptsid=1012000105912279&crea=81219961084&plac=&netw=g&device=c&ptscode=0110202010010001](http://www.alibaba.com/premium/extrusoras_de_plastico.html?uptime=20150816&ptsid=1012000105912279&crea=81219961084&plac=&netw=g&device=c&ptscode=0110202010010001)>

<sup>7</sup> Ministerio de trabajo, proteccion en riesgos laborales, mas que una obligacion una necesidad. [online] . Mintrabajo, 28 de Febrero de 2014. [En línea] <<http://www.mintrabajo.gov.co/febrero-2014/3065-la-proteccion-en-riesgos-laborales-mas-que-una-obligacion-una-necesidad.html>>

De acuerdo a lo anterior se plantea que las máquinas que intervienen en el proceso de fabricación de tubos de PVC, puedan ser evaluadas mediante una aplicación de realidad aumentada garantizando un buen sistema de evaluación de las mismas.

### 1.3 ESTADO DEL ARTE

El inicio del desarrollo de la realidad aumentada se da precisamente en el sector industrial ya que este se le atribuye a Thomas Caudell, ingeniero de la compañía Boeing, quien en 1990 se encargó de diseñar un sistema que facilitara a los empleados el uso de la instrumentación. Caudell sugirió la utilización de una pantalla en la que se superpusieron tareas y datos para los operarios<sup>8</sup>, el objetivo de este era encontrar una alternativa a los tediosos tableros de configuración de cables que utilizaban los trabajadores. Salió con la idea de anteojos especiales y tableros virtuales sobre tableros reales genéricos, es así que se le ocurrió que estaba “aumentando” la realidad del usuario. El término Realidad Aumentada fue dado al público en un paper en 1992<sup>9</sup>. En este mismo año Steven Feiner, Blair MacIntyre y Doree Seligmann presentaron un prototipo de sistema de realidad aumentada, el KARMA que se muestra en la Figura 2. Este sistema ideado en la Universidad de Columbia en Estados Unidos superpone el manual de máquinas complejas para que así fuera más fácil su arreglo. Este se basó en sobreimprimir el manual del equipo sobre motores y perillas, que luego derivó incluso en el desarrollo de herramientas para visualizar hallazgos arqueológicos.

---

<sup>8</sup> Galan, Maria Sanchez. Tecno y Ciencia. [online] 15 de Enero de 2014. [Citado el: 15 de Agosto de 2015.] [En línea] <http://tecnociencia.com/2014/a-traves-del-espejo-realidad-aumentada>.

<sup>9</sup> Avances del celular. [online] [Citado el: 10 de Agosto de 2015.] [En línea] <http://www.avancesdelcelular.weebly.com/historia.html>

**Figura 2.** Dispositivo KARMA



**Fuente.** Realidad Aumentada. URL.  
<http://terran.byethost18.com/ra.html?ckattempt=1>

En los años siguientes se desarrollaron experiencias y sistemas de realidad aumentada en diferentes ámbitos hasta que en 1999 Hirokazu Kato crea ARToolKit una biblioteca de código abierto que permite la creación de aplicaciones con esta tecnología y que abre la puerta al uso en dispositivos móviles. Su idea sugería la utilización de una pantalla en la que se superpusieran tareas y datos para los operarios<sup>10</sup>. Esta librería permite el desarrollo de aplicaciones en realidad aumentada, la cual se basa en utilizar las capacidades de seguimiento de video, para así calcular en tiempo real la posición de la cámara y la orientación teniendo como referencia marcadores físicos. De este modo superpone la cámara virtual en el mismo punto que lo estaría la cámara real. Resolviendo los problemas de seguimiento de punto de vista y la interacción con un objeto virtual. Así esta librería abrió las puertas al desarrollo de la realidad aumentada con el uso de dispositivos móviles<sup>11</sup>. Actualmente, se mantiene como un proyecto de código abierto alojado en SourceForge con licencias comerciales disponibles en ARToolWorks. ARToolKit es una biblioteca muy utilizada con más de 160.000 descargas desde el año 2004.<sup>12</sup>.

En los últimos años en las industrias están siendo ampliamente acogidas este tipo de tecnologías para el desarrollo de las tareas de mantenimiento y

---

10 Galan, Maria Sanchez. Tecno y Ciencia. [online] 15 de Enero de 2014. [Citado el: 15 de Agosto de 2015.] [En línea] <<http://tecnoyciencia.com/2014/a-traves-del-espejo-realidad-aumentada.>>

11 Ibid., [en línea]

12 Proyecto rehabilit-AR. [online] [Citado el: 8 de Agosto de 2015.] [En línea] <<https://rehabilitar.wordpress.com/2010/12/22/ARToolKit/>>

reparación, como por ejemplos las aplicaciones usadas en el sector automotriz. Donde se pueden encontrar adelantos de diseños estructurales y maquetas tridimensionales con información útil para el usuario. Uno de los casos es el de Audi, quienes han creado una aplicación llamada eKurzinfo que trabaja como si fuera el manual de instrucciones del vehículo, tan solo hay que abrir la aplicación y con el dispositivo enfocar la parte del vehículo sobre la cual se requiere información como se muestra en la Figura 3, el sistema despliega las características de la pieza junto con otros aspectos importantes del vehículo en general, complementándose algunas veces con secuencias completas de procedimiento. Esta es una herramienta muy útil no solo para los mecánicos encargados del mantenimiento de los autos, sino también para los conductores inexpertos en caso de que sufran algún inconveniente durante un recorrido<sup>13</sup>. En un principio la aplicación solo reconocía 65 elementos del coche, pero ahora se ha mejorado y funciona muchísimo mejor, además de estar preparada para modelos como el A3. Por ejemplo, digamos que no se sabe qué significa el indicador LED de la temperatura; entonces, se enfoca la aplicación al panel del vehículo y esta dará todo con lujo de detalles sobre qué se debe hacer, hasta mostrará dónde se encuentra el tanque de refrigeración bajo el capó. Según los desarrolladores de la aplicación, la última versión es capaz de reconocer más de 300 elementos individuales del coche, hasta piezas minúsculas del motor<sup>14</sup>.

**Figura 3.** Visualización de instrucciones para el motor mediante eKurzinfo.



**Fuente.** Intomobile. URL <http://www.intomobile.com/>

---

13 Mendiola, Jose. engadget. [online] 12 de Agosto de 2013. [Citado el: 3 de Agosto de 2015.] [En línea] <<http://es.engadget.com/2013/08/12/audi-a3-realidad-aumentada-ekurzinfo/>>

14 Rus, Cristian. Applesencia. [online] 13 de Agosto de 2013. [Citado el: 5 de Agosto de 2015.] [En línea] <<http://applesencia.com/2013/08/ekurzinfo-app-realidad-aumentada>>

Actualmente varias marcas del sector automotriz están siguiendo este ejemplo, para mantener su competitividad en el mercado.

Es por ello que la compañía Boeing, ha desarrollado técnicas mediante las cuales proyectan información sobre los cristales de los vehículos. Los cristales muestran la reparación paso a paso, con instrucciones textuales<sup>15</sup>.

Igualmente el departamento I+D de BMW, entre sus proyectos cuenta con líneas de investigación en aplicaciones de realidad aumentada que apoyan la simplificación de tareas tales como el mantenimiento, diagnóstico y reparación de cualquier defecto de sistemas mecánicos<sup>16</sup>. El concepto que ha desarrollado BMW cuenta con la última versión del sistema multimedia Head Up Display, que aumenta la visibilidad del conductor mediante la proyección de información en tiempo real, incluyendo los límites de velocidad y las señales de tráfico en el parabrisas directamente, en la línea de visión.

Los sensores ubicados en el exterior del coche recopilarán datos ambientales, que se procesarán y se transferirán a una fuente de luz situada en el interior del panel de instrumentos. Esta luz que brilla a través de un transistor de película fina (TFT) proyecta los datos pertinentes sobre el parabrisas, a través de espejos y permiten al conductor ver la información sin tener que apartar la vista de la carretera.

En lugar de una pantalla central compartida para los ocupantes de las plazas delanteras, el BMW Vision Future Luxury ofrece su propia Pantalla de Información de Pasajero con fusión de realidad aumentada. Esta pantalla está conectada a la de la información del conductor mediante un panel táctil, en el que se puede intercambiar información entre el conductor y el pasajero con movimientos de barrido. Aplicaciones como la compra online de entradas para la opera directamente desde el vehículo a través del servicio BMW Connected Drive Luxury Concierge se pueden mostrar en la pantalla de información del pasajero, donde no hay riesgo de distraer al conductor. El acompañante puede controlar las funciones relevantes utilizando el iDrive Controller, con interfaz táctil<sup>17</sup>.

Otro caso es el proyecto ARMAR (Augmented Reality for Maintenance and Repair) que ha desarrollado un sistema basado en realidad aumentada para el apoyo de tareas rutinarias de mantenimiento de vehículos. Se basa en una pantalla que se coloca en la cabeza del operario y en la que se pueden visualizar imágenes superpuestas cuyo fin es facilitar las reparaciones, como se

---

15 Galan, Maria Sanchez. Tecno y Ciencia. [online] 15 de Enero de 2014. [Citado el: 15 de Agosto de 2015.] [En línea] <<http://tecnociencia.com/2014/a-traves-del-espejo-realidad-aumentada>.>

16 Ibid., [en línea]

17 Press BMW Group. Abril de 2014. [En línea] [https://www.press.bmwgroup.com/usa/pressDetail.html?title=bmw-vision-future-luxury&outputChannelId=9&id=T0178150EN\\_US&left\\_menu\\_item=node\\_\\_4314](https://www.press.bmwgroup.com/usa/pressDetail.html?title=bmw-vision-future-luxury&outputChannelId=9&id=T0178150EN_US&left_menu_item=node__4314).

presenta en la Figura 4. El principal objetivo de este sistema es reducir los tiempos de mantenimiento a la mitad mientras guía a los usuarios en la reparación de la zona dañada, visualizando animaciones tridimensionales que muestran las herramientas y técnicas más adecuadas<sup>18</sup>.

**Figura 4.** Sistema ARMAR



**Fuente.** BMW: augmented reality to help with car repairs. URL.  
<http://www.designboom.com/cars/bmw-augmented-reality-to-help-with-car-repairs/>

De igual manera un equipo de investigadores del Instituto de Robótica y Tecnologías de las Comunicaciones (IRTIC) de la Universidad de Valencia (UVEG), liderados por Pedro Morillo y Marcos Fernández, han desarrollado un novedoso sistema de Realidad Aumentada sobre telefonía móvil y de bajo coste, orientado a mejorar y agilizar las tareas de reparación y mantenimiento de maquinaria industrial, con el objetivo de poder guiar dichas tareas a distancia, la Figura 5 da una idea de su funcionamiento. Este sistema es el resultado de cerca de dos años de trabajo y ha contado con financiación tanto de convocatorias públicas para proyectos de investigación, como de contratos de investigación con empresas<sup>19</sup>.

---

18 Galan, Maria Sanchez. Tecno y Ciencia. [online] 15 de Enero de 2014. [Citado el: 15 de Agosto de 2015.] [En línea] <<http://tecnoyciencia.com/2014/a-traves-del-espejo-realidad-aumentada.>>

19 20 minutos. [Online] 30 de Marzo de 2011. [Citado el: 03 de Agosto de 2015.] [En línea] <<http://www.20minutos.es/noticia/1005331/0/>>



**Figura 5.** Ensamblaje de piezas de maquinaria con ayuda de la RA



**Fuente.** Heraldo. “Realidad aumentada, así se desmonta un torno”. URL [http://www.heraldo.es/noticias/suplementos/2015/05/14/realidad\\_aumentada\\_asi\\_desmonta\\_torno\\_360632\\_314.html](http://www.heraldo.es/noticias/suplementos/2015/05/14/realidad_aumentada_asi_desmonta_torno_360632_314.html)

También se encuentran los avances de la compañía Maincon, la cual lleva a cabo un proyecto que tiene como objetivo diseñar y aplicar un sistema de entrenamiento en mantenimiento de maquinaria de primer nivel, con ayuda de la realidad aumentada, que permita a los operadores de maquinaria de movimiento de tierras mejorar sus capacidades al momento de realizar un mantenimiento seguro de su máquina, y no únicamente su operación, en la Figura 6 se muestra una pantalla con las instrucciones para quitar un filtro en este tipo de maquinaria<sup>20</sup>.

**Figura 6.** Quitar el filtro principal



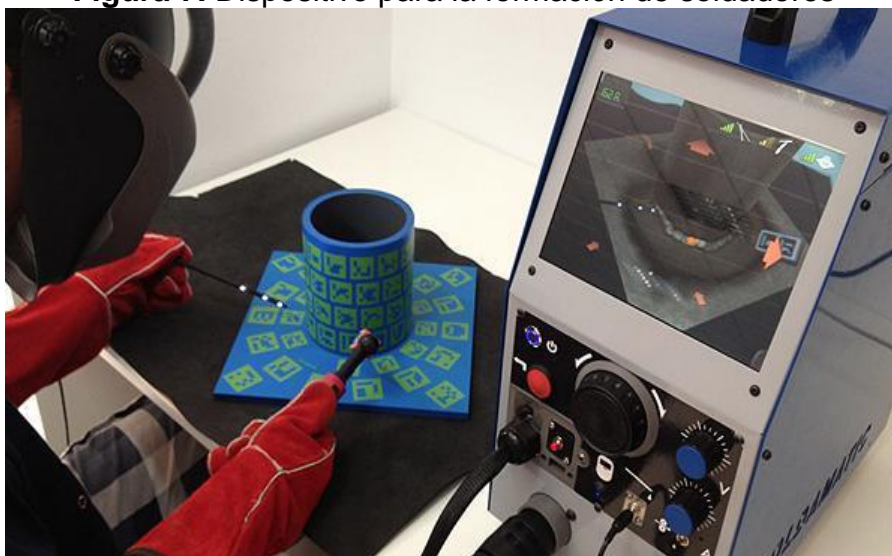
**Fuente:** Maincon – realidad aumentada al mantenimiento de maquinaria de construcción

---

20 Main.con. [En línea] [Citado en: Agosto de 2015.]  
<<https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=8&cad=rja&uact=8&ved=0CDkQFjAHahUKEwi e9sKZmsDHAhVEXh4KHZ0rCOY&url=http%3A%2F%2Fwww.mainconproject.eu%2Fdescargaarchivo.PHP%3Furl%3Ddescarga%2FDOWN4e5cc3778255a.pdf&ei=oULaVd6hDsS8eZ3XoLAO&usS>>

Otro avance que muestra una aplicación en el sector industrial, ha sido el desarrollo de un dispositivo avanzado para la formación en soldadura basado en simulación con realidad aumentada y actualizable en remoto. Este tiene como fin dar una formación completa a soldadores para que sean capaces de ejercer sus habilidades en todas las especialidades y procesos industriales. Este desarrollo es un excelente ejemplo de la utilidad de la realidad aumentada como herramienta formativa ya sea en operarios de fábricas o en el ámbito académico, permite la simulación de todos los tipos de soldadura industrial – electrodo revestido (SMAW), MIG/MAG (GMAW, FCAW) y TIG(GTAW)-, de todos los materiales y de todos los tipos de juntas existentes en todas las posiciones de soldeo (1F a 4F, 1G a 6G, 6GR), y que simula de forma muy exacta, mediante la aplicación de una tecnología de Realidad Aumentada, la cual permite la interacción de diferentes elementos en varias capas, el comportamiento de una máquina de soldar real; todo ello se implementa sobre un sistema de control, seguimiento y evaluación de los alumnos que permitirá la comprobación en tiempo real del aprendizaje por parte del profesor incluso en un puesto remoto, sin estar físicamente en el aula de formación, la Figura 7 permite obtener una idea de cómo es su interfaz<sup>21</sup>.

**Figura 7.** Dispositivo para la formación de soldadores



Fuente. Soldamatic: Realidad aumentada aplicada a la formación técnica. URL. <http://www.pwht.es/news/soldamatic-realidad-aumentada-aplicada-a-la-formacion-tecnica/>

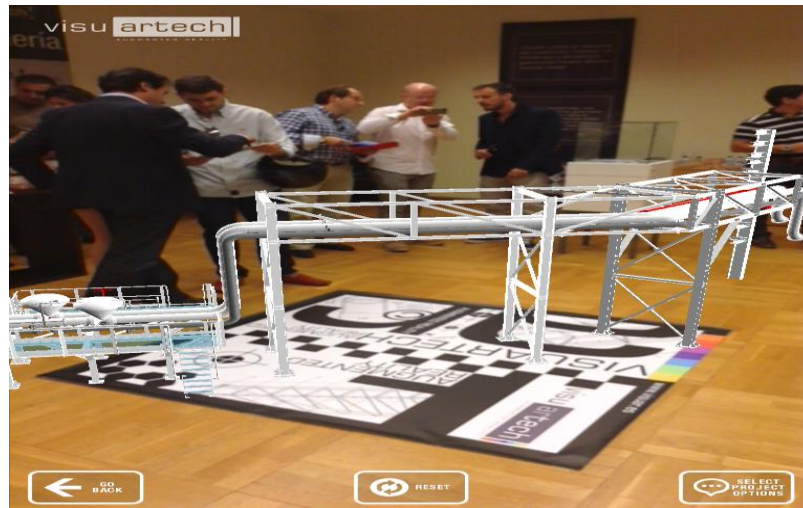
---

21 Juan Jose Barrera, Jose Nieto, Gracia Basilio Alejandro Vazquez. [En línea] 13 de Diciembre de 2013. [En línea] <<http://www.google.com/patents/WO2013186413A1?cl=es>>

La realidad aumentada en aplicaciones industriales, busca hacer eficientes algunos procesos, como crear un entorno para profesionales o usuarios que mejore el acceso a determinadas herramientas. Como es el caso de los procesos de diseño, donde la realidad aumentada es una opción eficaz para ayudar a ingenieros en el proceso de intervenir y entender una línea de producción específica.

Así lo evidencia el desarrollo de Visuartech, esta herramienta se enfoca en facilitar los procesos de diseño, vinculados a la construcción de algún espacio o elemento, donde se puede pre visualizar un proyecto con sus detalles constructivos y desde todos sus ángulos, brindando más libertad en cuanto a modificaciones y mejoras antes de su posible implementación permitiendo corregir errores de diseño en tiempo real o compartir avances de un modo más sencillo. Su aplicación se ve claramente en la Figura 8<sup>22</sup>.

**Figura 8.** Pre visualización de una instalación utilizando Visuartech



**Fuente.** Visuartech, Realidad Aumentada. URL.  
<http://www.blog.arquitectos.com/blog/novedades/visuartech-realidad-aumentada/>

Ahora los empresarios pueden, mediante el uso de marcadores, visualizar cómo quedarían las instalaciones de maquinaria, antes de comprar e instalar, solo con enfocar la cámara de fotos de su dispositivo a su alrededor.

De esta forma se ahorra costes de fabricación y también se consigue un nivel mayor de interacción.

---

<sup>22</sup> Visuartech. [En línea] [En línea] URL: <http://www.visuartech.com/>

En campos poco accesibles como el aeroespacial, las aplicaciones han sido desarrolladas para apoyar al personal de mantenimiento que realiza sus tareas y en un entorno de investigación.

Siguiendo esta tendencia el Centro de Domótica Integral de la Universidad Politécnica de Madrid trabaja en proyectos de realidad aumentada para el área industrial que buscan dar soporte para la toma de decisiones dentro del prototipado industrial o la visualización de procesos antes de la finalización del proyecto<sup>23</sup>.

Así, un ingeniero de mantenimiento puede usar esta tecnología para disponer de lecturas en tiempo real sobre los equipos en el terreno. Esto permitiría actuaciones rápidas y correcciones que podrían realizarse con ayuda de los mismos dispositivos que sirven de soporte para las aplicaciones de realidad aumentada<sup>24</sup>.

En esta línea, estudios recientes también han aplicado la tecnología de realidad aumentada para el mantenimiento de equipos de instalaciones solares fotovoltaicas. Según estas referencias, se podría pensar que el empleo de la tecnología de realidad aumentada en los campos de reparación y mantenimiento de sistemas complejos es beneficioso.

Se podría concluir que en la rama de la ingeniería, unos de los mayores beneficiados con esta tecnología son, posiblemente, los ingenieros mecánicos. La infinidad de escenarios en los que la realidad aumentada puede favorecer el trabajo de estos ingenieros ha convertido esta tecnología en un valioso recurso, como se presenta en la Figura 9.

---

23 Galan, Maria Sanchez. Tecno y Ciencia. [online] 15 de Enero de 2014. [En línea] <<http://tecnoyciencia.com/2014/a-traves-del-espejo-realidad-aumentada.>>

24 Ibid., [en línea]

**Figura 9.** Realidad aumentada en un auto de BMW



**Fuente.** Fayerwayer. URL. <https://www.fayerwayer.com/>

Otra compañía que ha incursionado en esta tecnología es Ford con el objetivo de mejorar los tiempos de producción en sus líneas de ensamblaje y mejorar la productividad de cada operario, ellos han instalado un sistema de visualización 3D basado en realidad aumentada que les brinda la facilidad de trasladarse a cada rincón de las cadenas de producción, y mediante una pantalla de 2x1.48 metros les permite probar y buscar soluciones que ayuden a generar una mayor productividad sin necesidad de estar en el lugar, evitando pérdidas en tiempo de producción en sus cadenas de montaje a causa de pruebas<sup>25</sup>, como se presenta en la Figura 10.

**Figura 10.** Sistema de visualización en Realidad aumentada de Ford



**Fuente.** Diario motor. URL.

<http://www.diariomotor.com/tecmovia/2012/03/24/ford-apuesta-por-la-realidad-virtual-en-3D-para-mejorar-sus-cadenas-de-montaje/>

---

<sup>25</sup> Metal Actual, Repotenciación de maquinaria: alternativa técnica y económicamente viable. [En línea] <[http://www.metalactual.com/revista/23/maquinaria\\_repotenciacion.pdf](http://www.metalactual.com/revista/23/maquinaria_repotenciacion.pdf)>

Esta misma compañía ha desarrollado los lentes de realidad aumentada que permiten conocer al usuario las partes de su automóvil que necesite dismantelar, indicándole la herramienta adecuada que debe utilizar y guiándolo en el proceso, de una forma precisa y segura<sup>26</sup>.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo General**

Desarrollar una aplicación basada en realidad aumentada para visualizar las modificaciones en una línea de producción de tubos de PVC además de la adaptación para el montaje en nuevos espacios.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Realizar el estado del arte correspondiente a la implementación de la realidad aumentada en sistemas de reconstrucción en un sistema de extrusión de tubería PVC.
- Implementar los componentes y piezas de un sistema de extrusión de tubería PVC en CAD basado en los planos de un modelo real.
- Realizar el modelo matemático de las transformaciones geométricas usando la representación matricial para determinar posición, rotación y tamaño de los objetos en el área de trabajo.
- Implementar un proceso de fabricación por medio del programa de diseño asistido por computador y multi-informático BLENDER, las diferentes piezas de cada una de las máquinas usadas en el proceso de fabricación de tubos (Extrusora, tanque de refrigeración, Puller, Sierra, Acampanadora).
- Diseñar la lógica de programación para la correcta implementación de la aplicación con realidad aumentada usando un software de programación y la librería ARToolKit.

---

<sup>26</sup> Xataka. [En línea] 10 de Abril de 2015. [En línea] <<http://www.xataka.com/automovil/mini-quiere-que-conduzcas-con-gafas-de-realidad-aumentada>>

- Diseñar los marcadores para la captura de los esquemas realizados en el programa de diseño asistido por computador BLENDER y ajustarlos de acuerdo a lo propuesto dentro de la programación.
- Validar el funcionamiento del sistema mecatrónico proyectado.

## **1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES**

Al finalizar el proyecto se espera obtener la implementación de una aplicación que requerirá un dispositivo equipado con una cámara y una pantalla, que se utilizará sobre los marcadores dispuestos para la proyección de cada máquina.

Un alcance importante es el ahorro financiero que se va a aportar a múltiples empresas, ya que se pueden prevenir múltiples fallas técnicas y de diseño con una vista previa del proceso.

Como limitaciones encontramos que esta tecnología estará sujeta al uso de marcadores cuyo correcto funcionamiento dependerá de la iluminación del lugar de trabajo, el tamaño del marcador y su distancia respecto a la cámara.

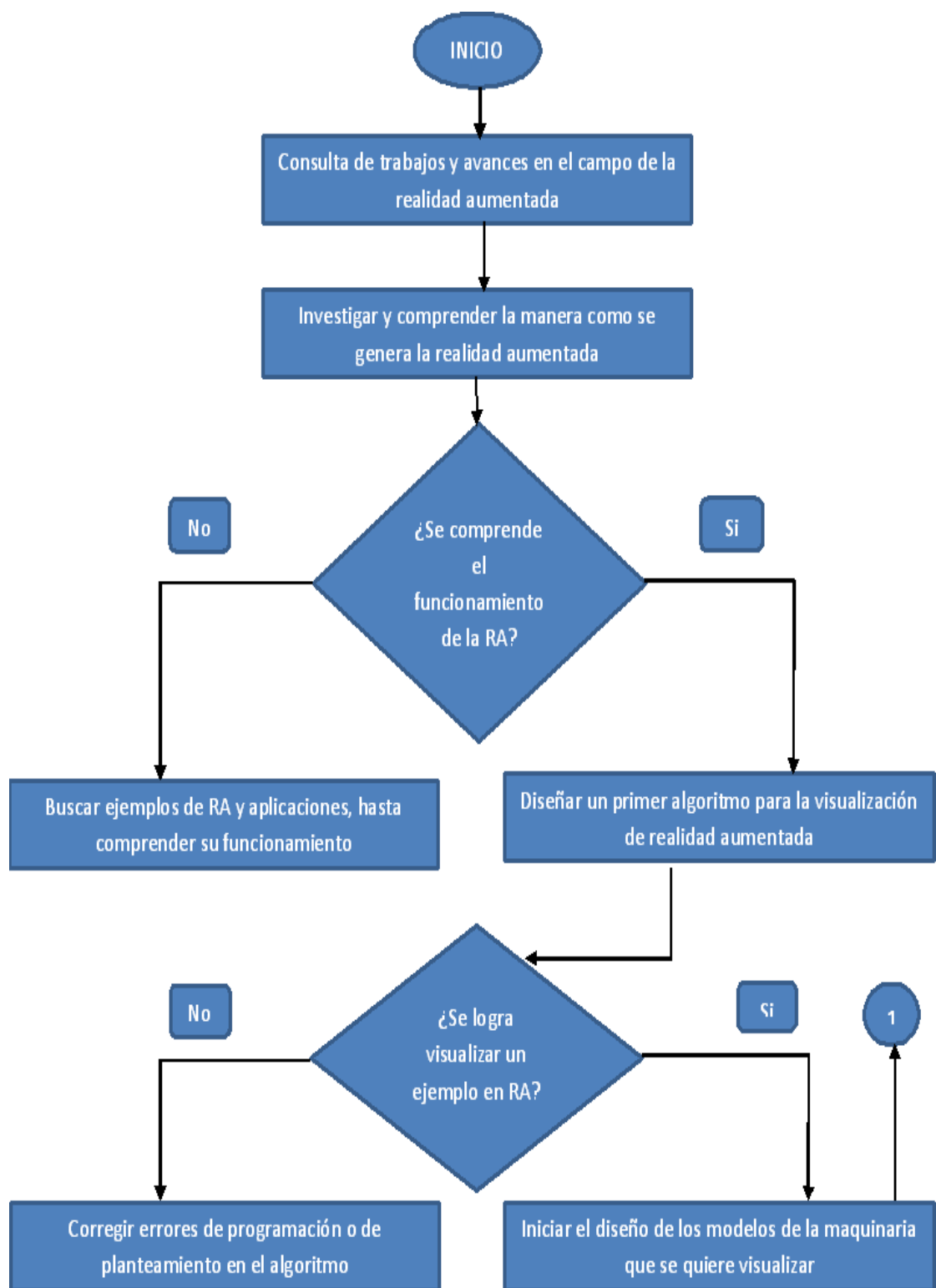
## **1.6 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DEL PROGRAMA**

El software tiene diversos campos de aplicación como la medicina, la mecánica automotriz, la docencia, entre otros, ya que al trabajar con una tecnología versátil como lo es la Realidad Aumentada, hace que el software pueda operar en cualquier área donde pueda ser útil. Sin embargo para este proyecto el software ha sido enfocado hacia la automatización especialmente en la industria, donde se puedan desarrollar diferentes ideas que puedan suplir y optimizar procesos de este campo ingenieril.

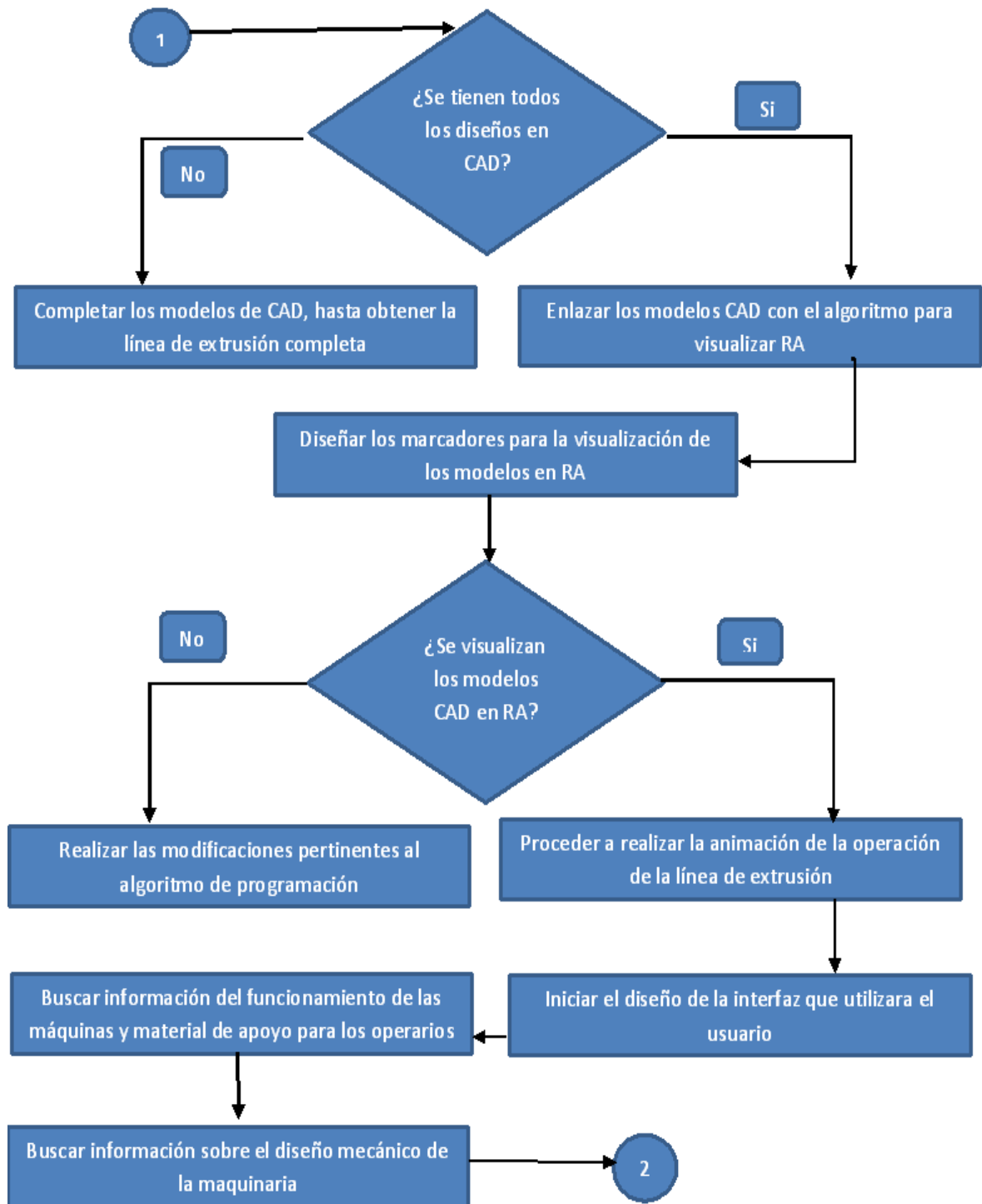
## **1.7 DISEÑO METODOLÓGICO**

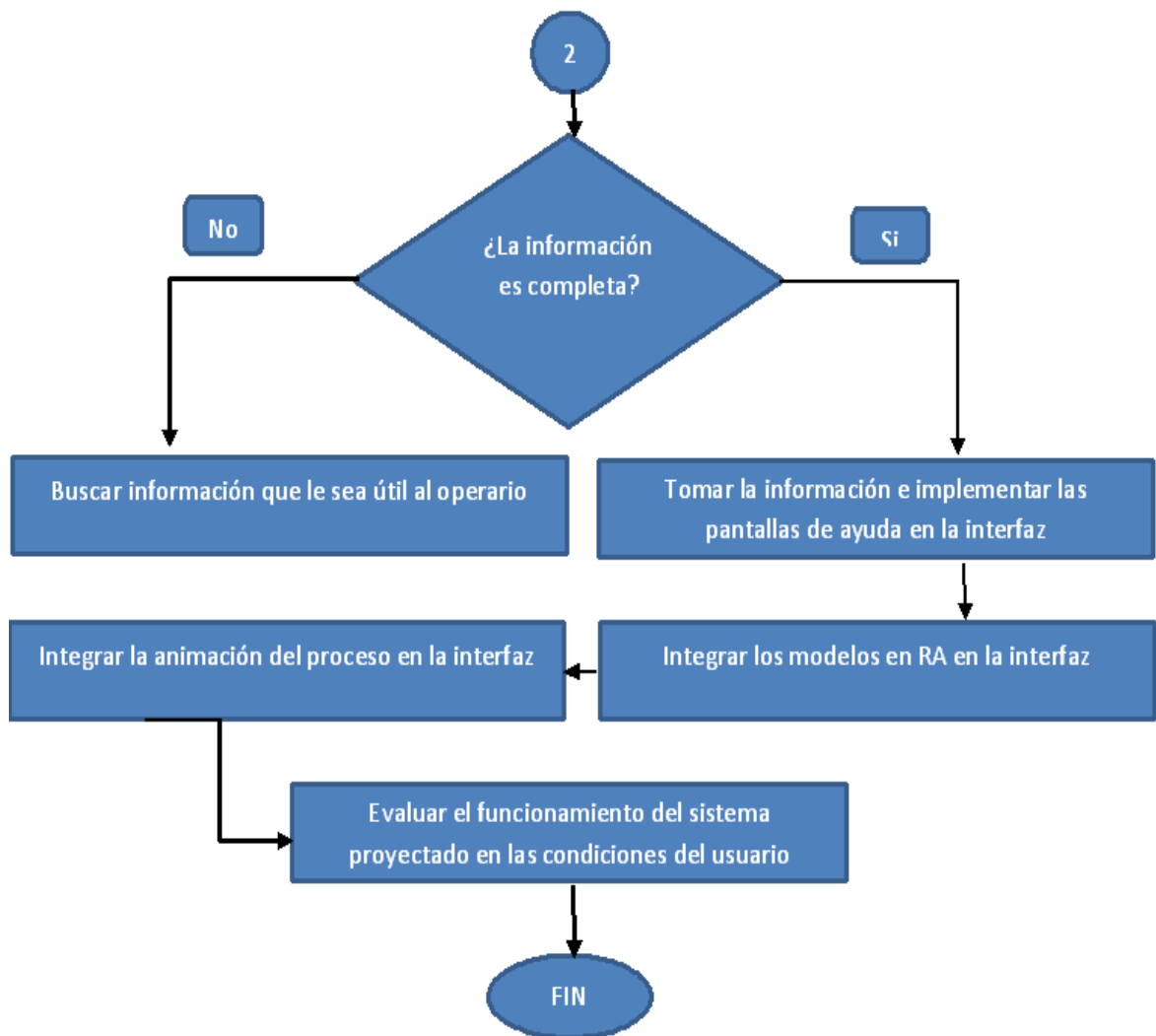
Por medio del siguiente algoritmo, se muestra el proceso a seguir en el desarrollo del aplicativo expuesto en el presente proyecto. Este proporciona una guía que facilita llegar a los resultados deseados, donde se consideran los aspectos principales a tener en cuenta.











## **2 MARCO REFERENCIAL**

En el presente capítulo se exponen conceptos y herramientas claves, que permitirán al lector obtener una idea clara, con respecto a los fundamentos teóricos que dan soporte a la aplicación de realidad aumentada, además de comprender el funcionamiento del mismo.

### **2.1 MARCO TEÓRICO**

Inicialmente se presenta el concepto de realidad aumentada, especificando los principios y herramientas a utilizar para el desarrollo de la aplicación entre ellas la librería ARToolKit y el software multi-informático Blender. Se concluye con la descripción del proceso de fabricación de tubos PVC, que es hacia donde se enfoca el desarrollo de la aplicación de realidad aumentada del presente trabajo.

#### **2.1.1 Realidad aumentada**

La realidad aumentada consiste en entremezclar el mundo real y el mundo virtual en una realidad mixta en tiempo real, con la ayuda de dispositivos, ya sea un ordenador, un teléfono móvil, una tableta o cualquier otro, la información sobre el mundo real que rodea al usuario se convierte en información digital e interactiva<sup>27</sup>.

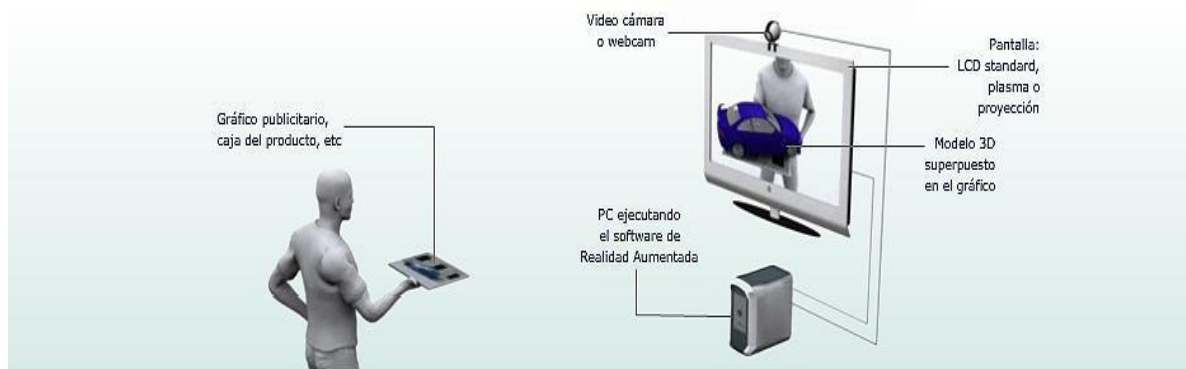
Complementado la idea anterior, se define la realidad aumentada como una tecnología que integra señales captadas del mundo real (típicamente video y audio) con señales generadas por computadores (objetos gráficos tridimensionales y bidimensionales); las cuales se unen para construir nuevos entornos coherentes, complementados y enriquecidos – hace coexistir objetos del mundo real y objetos del mundo virtual<sup>28</sup>, así como se presenta en la Figura 11.

---

27 Otero, Marina. Suite 101. [En línea] 2011. [En línea] [http://suite101.net/article/realidad-aumentada-la-hibridacion-del-mundo-real-y-el-virtual-a35886#.VeTtUPZ\\_Oko](http://suite101.net/article/realidad-aumentada-la-hibridacion-del-mundo-real-y-el-virtual-a35886#.VeTtUPZ_Oko).

28 Realidad Aumentada. [En línea] <<http://www.it.uc3m.es/jvillena/irc/practicas/10-11/13mem.pdf>>

**Figura 11.** Proceso informático en un sistema de Realidad Aumentada



**Fuente.** Tecnología. URL. <http://realidadaumentada.info/tecnologia/>

La realidad aumentada sea convertido en un medio ideal para la aplicación de diversos campos como: educación, entretenimiento, milicia, turismo, arquitectura, y otros. Ya que, este tipo de tecnología al permitir agregar alguna información adicional a lo que observamos en la cotidianidad nos da un amplio conocimiento de lo que se está observando.

### 2.1.2 Realidad Virtual

La realidad virtual se podría definir como un sistema informático que genera en tiempo real representaciones de la realidad, que de hecho no son más que ilusiones, ya que se trata de una realidad perceptiva sin ningún soporte físico y que únicamente se da en el interior de los ordenadores<sup>29</sup>, se ve diariamente en los videojuegos.

Se está implementando a nivel comercial el uso de gafas o cascos de realidad virtual para uso de entretenimiento como en consolas de videojuegos, simuladores de vuelo, entrenamiento militar, entre otros. Un ejemplo de esta se aprecia en la Figura 12.

---

<sup>29</sup> Retro Informatica. [En línea] [Citado el: 22 de Agosto de 2015.] <<http://www.fib.upc.edu/retro-informatica/avui/realitatvirtual.html>>

**Figura 12.** Realidad virtual en los videojuegos



**Fuente.** Mundo gamers. URL. [www.mundogamers.com](http://www.mundogamers.com).

### **2.1.3 Diseño Asistido por Computador (CAD)**

El diseño asistido por computador consiste en el uso de programas computacionales para crear representaciones gráficas de objetos en 2D o 3D con características específicas como tamaño, contorno, color, etc.

Los Software CAD son ampliamente usados para la animación computacional y efectos especiales en películas, publicidad y productos de diferentes industrias; para este último el software permite realizar cálculos para determinar una forma y tamaño óptimo para una variedad de productos y aplicaciones de diseño industrial que mejora la fabricación, desarrollo y diseño de los mismos con la ayuda de la computadora. También permite la simulación de los productos permitiendo observar los puntos críticos que este pueda tener y corregirlos.

En diseño industrial y de productos, CAD es utilizado principalmente para la creación de modelos de superficie o sólidos en 3D, o bien, dibujos de componentes físicos basados en vectores en 2D. Sin embargo, el diseño asistido por computador también se utiliza en los procesos de ingeniería desde el diseño conceptual y hasta el Layout de productos, a través de fuerza y análisis dinámico de ensambles hasta la definición de métodos de manufactura. Esto le permite al ingeniero analizar interactiva y automáticamente las variantes de diseño, para encontrar el diseño óptimo para manufactura mientras se minimiza el uso de prototipos físicos.

## Beneficios de CAD

Los beneficios del CAD incluyen menores costos de desarrollo de productos, aumento de la productividad, mejora en la calidad del producto y un menor tiempo de lanzamiento al mercado.<sup>30</sup>

- Mejor visualización del producto final, los sub-ensambles parciales y los componentes en un sistema CAD agilizan el proceso de diseño.
- El software CAD ofrece gran exactitud de forma que se reducen los errores de diseño.
- Brinda una documentación más sencilla y robusta del diseño, incluyendo geometría y dimensiones, lista de materiales, etc.
- Permite una reutilización sencilla de diseños de datos y mejores prácticas.

De acuerdo a la información anterior, se realiza un cuadro comparativo (ver Tabla 1) que permite evaluar cada programa CAD para seleccionar aquel con mejores características para modelamiento virtual de las máquinas, de acuerdo a las necesidades de la realidad aumentada.

**Tabla 1.** Tabla comparativa de programas CAD.

	<b>BLENDER</b>	<b>AUTOCAD</b>	<b>SKETCHUP</b>	<b>MAYA</b>	<b>3D MAX STUDIO</b>
<b><i>Multiplataforma</i></b>	SI	NO	SI	SI	SI
<b><i>Licencia libre</i></b>	SI	NO	NO	NO	NO
<b><i>Ejecutable ligero</i></b>	SI	NO	NO	NO	NO
<b><i>Diseño 2D</i></b>	SI	SI	SI	SI	SI
<b><i>Diseño 3D</i></b>	SI	SI	SI	SI	SI
<b><i>Animación</i></b>	SI	SI	SI	SI	SI
<b><i>Edición de Audio</i></b>	SI	SI	SI	SI	SI
<b><i>Edición de Video</i></b>	SI	SI	SI	SI	SI
<b><i>Renderizado</i></b>	SI	SI	SI	SI	SI

<sup>30</sup> PLMAutomation. [En línea] 2015.  
[http://www.plm.automation.siemens.com/es\\_sa/plm/cad.shtml](http://www.plm.automation.siemens.com/es_sa/plm/cad.shtml)

<b>Lenguaje de Programación</b>	PHYTON	C	NO	MEL	MaxScripts
<b>Mapeado UV</b>	SI	SI	SI	SI	SI
<b>Soporte gratuito</b>	SI	NO	SI	NO	NO

**Fuente.** Propia del autor.

Tomando en cuenta las características de cada programa CAD y los requerimientos de este trabajo para el modelamiento virtual de cada máquina, se consideró al programa multiplataforma Blender como la mejor propuesta para suplir las necesidades de diseño, ya que en primera medida es un software libre, con excelente documentación para capacitarse sobre el manejo de la herramienta con una interfaz intuitiva para nuevos usuarios, además de la integración de una consola de programación bajo el lenguaje de Python, que permitirá, exportar los modelos de las máquinas en un nuevo formato como se verá en el capítulo cinco de este libro.

### 2.1.3.1 Blender

Blender es un software, dedicado especialmente al modelado, animación y creación de gráficos tridimensionales. Actualmente es un software libre, compatible con todas las versiones de Windows, Mac OS X, GNU/Linux, Solaris, FreeBSD e IRIX.

Algunas de sus características se enlistan a continuación:

- Multiplataforma, libre, gratuito y con un tamaño de origen realmente pequeño comparado con otros paquetes de 3D, dependiendo del sistema operativo en el que se ejecuta.
- Capacidad para una gran variedad de primitivas geométricas, incluyendo curvas, mallas poligonales, vacíos, NURBS, metaballs.
- Junto a las herramientas de animación se incluyen cinemática inversa, deformaciones por armadura o cuadrícula, vértices de carga y partículas estáticas y dinámicas.
- Edición de audio y sincronización de video.
- Características interactivas para juegos como detección de colisiones, recreaciones dinámicas y lógica.
- Posibilidades de renderizado interno versátil e integración externa con potentes trazadores de rayos o « raytracer » libres como kerkythea, YafRay o Yafrid.
- Lenguaje Python para automatizar o controlar varias tareas.

- Blender acepta formatos gráficos como TGA, JPG, Iris, SGI, o TIFF. También puede leer ficheros Inventor.
- Motor de juegos 3D integrado, con un sistema de ladrillos lógicos. Para más control se usa programación en lenguaje Python.
- Simulaciones dinámicas para softbodies, partículas y fluidos.
- Modificadores apilables, para la aplicación de transformación no destructiva sobre mallas.
- Sistema de partículas estáticas para simular cabellos y pelajes, al que se han agregado nuevas propiedades entre las opciones de shaders para lograr texturas realistas.

Es una herramienta muy completa que permite realizar proyecciones realistas al trabajar con realidad aumentada<sup>31</sup>.

### 2.1.3.2 Animación

“Animación son los cambios en el tiempo sobre algunos aspectos de la escena”<sup>32</sup>. Esto es posible gracias a una secuencia de imágenes ordenadas de forma consecutiva la cual hace que nuestros ojos tengan la sensación de ver un objeto moviéndose sobre un plano bidimensional.

Las imágenes proyectadas pueden ser vistas por medio de una cámara y visualizadas por una pantalla donde el ojo humano las puede percibir como sucesiones en el tiempo.

### Tipos de animaciones

- *Dibujo animado*: antiguamente se usaba dibujos para formar cada fotograma y se pasaban las imágenes en frente de una cámara rápidamente. El proceso fue optimizado usando papel de acetato para crear las imágenes que permitieran asistir a la creación de cuadros intermedios<sup>33</sup>.

---

<sup>31</sup> Blender3D. [En línea] <http://Blender3D.es/>

<sup>32</sup> Blender. Animación básica de objetos. [En línea] [https://wiki.Blender.org/index.PHP/Doc:ES/2.4/Books/Essential\\_Blender/03.3.Object\\_Animation\\_Basics](https://wiki.Blender.org/index.PHP/Doc:ES/2.4/Books/Essential_Blender/03.3.Object_Animation_Basics)

<sup>33</sup> Digital, Animación. Tipos de animación. [En línea] 2011. <http://animaciontoonboom.webnode.com.co/historia-de-la-animacion/tipos-de-animacion/>



- *Animación completa:* Este tipo de animación se usa trazos más finos y detallados para tener una mejor calidad en las imágenes<sup>34</sup>.
- *Stop motion o claymation:* Consiste en dar animación a figuras como plastilina u objetos. Es común ver este tipo de animación usado en plastilina el cual se va transformando y adquiriendo nuevas formas a lo largo del video<sup>35</sup>.
- *Go motion o brickfilm:* Se basa en darle movimiento a diseños basados en muñecos, donde se va dando la animación al personaje y se va tomando una foto por cada nueva pose adquirida. Esto se conoce como animatronic.
- *Recambio de piezas:* Es una técnica donde hace animaciones intercambiando partes características del personaje. Esto quiere decir, que podemos reemplazar piezas de un personaje de acuerdo a la animación deseada. Un ejemplo de esto es hacer que las expresiones de un personaje sea alegre, triste, enojado, furioso, entre otros.<sup>36</sup>
- *Pixelación:* Técnica que consiste en darle animación a objetos de la cotidianidad o a personas. Este va tomando una foto por cada desplazamiento que se va dando para luego unificar todas las fotos y tener una animación al pasar todas las fotos a una determinada velocidad.<sup>37</sup>
- *Rotoscopia:* Es una técnica donde se replica una fotografía, usada como referencia, con el fin de ilustrar mismos escenarios y realizar similares calcados.<sup>38</sup>
- *Animación limitada:* Se usa el método implementado en las animaciones de dibujos animados, varía en que varios cuadros son repetitivos a lo largo de la animación.<sup>39</sup>
- *Animación por recortes:* Consiste en usar recortes y usar diferentes cortes para que la animación tenga diferentes poses.<sup>40</sup>
- *Animación flash:* Programa de edición para animaciones en 2D, este tipo de programa se emplea en páginas web para hacerlas más interactivas y llamativas.<sup>41</sup>

---

<sup>34</sup> Ibid., [en línea]

<sup>35</sup> Ibid., [en línea]

<sup>36</sup> Ibid., [en línea]

<sup>37</sup> Ibid., [en línea]

<sup>38</sup> Ibid., [en línea]

<sup>39</sup> Ibid., [en línea]

<sup>40</sup> Ibid., [en línea]

- *Animación digital*: También llamada animación por computadora, consiste en realizar animaciones por medio de una computadora. Los diseños se desarrollan por software de diseño.<sup>42</sup>
- *Animación 3D*: Es una técnica que se hace por medio de renderizado, básicamente, se interpreta en un plano bidimensional un objeto tridimensional.
- *Foto realidad*: Consiste en hacer la realidad virtual lo más semejante posible al mundo real, hoy en día se usa esta técnica en las últimas generaciones de consolas de videojuegos y se ha intentado plasmar en algunas películas<sup>43</sup>.
- *Animación motion capture y performance capture*: Es la técnica más moderna implementada, se usa un traje especial, que tiene unos sensores, para que una persona lo use, los movimientos ejecutados por la persona son registrados por una computadora y esa adquisición de datos se van guardando por medio de un software especial<sup>44</sup>.

### 2.1.3.3 Renderizado

Hace referencia al aspecto final que se obtendrá luego de definir diferentes colores, iluminaciones, entorno, entre otros. La siguiente Figura 13, muestra un ejemplo del entorno 3D que usa Blender y lo compara con la imagen final que se obtiene por medio de la cámara virtual que usa el programa<sup>45</sup>.

---

<sup>41</sup> Ibid., [en línea]

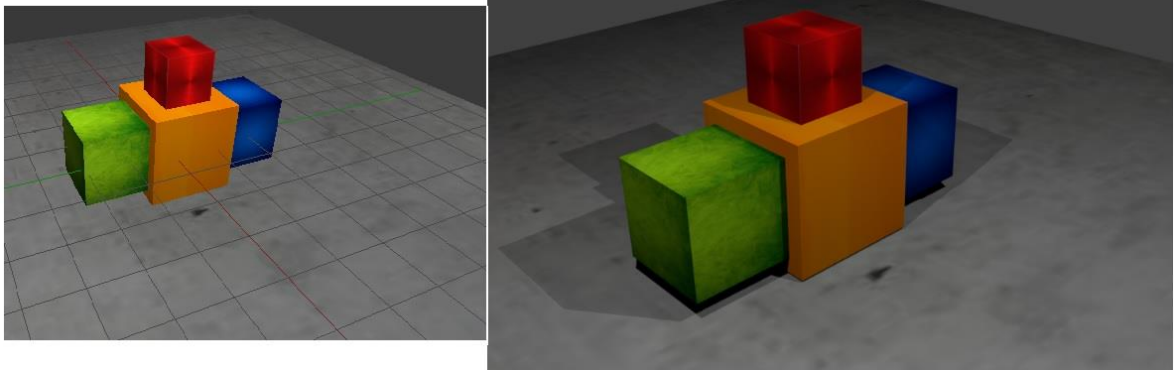
<sup>42</sup> Ibid., [en línea]

<sup>43</sup> Ibid., [en línea]

<sup>44</sup> Ibid., [en línea]

<sup>45</sup> Educación, Blender : 3D en la. Renderizado. [En línea] Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado. [En línea] URL: <http://www.ite.educacion.es/formacion/materiales/181/cd/m2/renderizado.html>

**Figura 13.** Comparación entre imagen 3D e imagen renderizada.



**Fuente.** Propia del autor.

#### 2.1.4 ARToolKit

ARToolKit es un amplio conjunto de librerías para C/C++ que sirven para la creación de aplicaciones de realidad aumentada. Para ello, utiliza las capacidades de seguimiento de vídeo, con el fin de calcular, en tiempo real, la posición de la cámara y la orientación relativa a la posición de los marcadores físicos. Una vez que la posición de la cámara real es calculada, la cámara virtual se puede colocar en el mismo punto y los modelos 3D son sobrepuestos exactamente sobre el marcador real. Así ARToolKit resuelve dos de los principales problemas en la realidad aumentada, el seguimiento de punto de vista y la interacción objeto virtual<sup>46</sup>.

La estructura de ARToolKit se basa en, una librería multiplataforma y una librería de vídeo, el algoritmo para superponer objetos virtuales en 3D sobre marcadores reales, un detector de marcadores 6D, una rutina simple de calibración, un modo de renderizado rápido y una completa colección de muestras y utilidades.

#### 2.1.5 Microsoft Visual Studio

Visual Studio es un entorno de desarrollo integrado, que le proporciona herramientas para la generación de aplicaciones web ASP.NET, Servicios Web

---

<sup>46</sup> Taringa. [En línea] 2011. [En línea] URL: <http://www.taringa.net/post/mac/9799063/Realidad-Aumentada.html>

XML, aplicaciones de escritorio y aplicaciones móviles al usuario. Visual Studio soporta diferentes lenguajes de programación como c#, C++, python, Java, PHP, ruby, Visual Studio.NET y F#.

- C++. Es un lenguaje de programación orientado a objetos y derivado del lenguaje de programación C, al cual se le ha añadido nuevos tipos de datos, clases, plantillas, funciones online, referencia, operadores entre otras utilidades que lo convierten en un lenguaje de programación multiparadigma<sup>47</sup>.
- C# (*C sharp*). Al igual que el anterior es un lenguaje de programación orientado a objetos, desarrollado por Microsoft para ejecutar aplicaciones en NET Framework<sup>48</sup>.
- Python. Es un lenguaje de programación multi-paradigmático ya que soporta programación orientada a objetos, programación funcional e imperativa, con estructuras de datos eficientes y de alto nivel.<sup>49</sup>
- Java. Es un lenguaje compilado e interpretado. Java ha logrado independizarse de la máquina, al interpretar su código una máquina virtual, cuyo objetivo es permitir a los desarrolladores ejecutar sus programas en cualquier dispositivo<sup>50</sup>.
- PHP. este lenguaje de programación fue especialmente adecuado para el desarrollo web y que puede ser incorporado en html<sup>51</sup>.
- Ruby. es un lenguaje orientado a objetos, que mezcla lenguaje de programación Perl, Smalltalk, Eiffel, Ada y Lisp, para incorporar el lenguaje de programación funcional e imperativa<sup>52</sup>.
- Visual Studio.NET puede considerarse este lenguaje de programación como la evolución de VisualBasic.NET dentro de la estructura de framework.net. También es un lenguaje orientado a objeto para

---

47 Ecured. [En línea] <<http://www.ecured.cu/C%2B%2B>>

48 Ecured. [En línea] *Lenguaje de programación sharp*. [En línea]  
<[http://www.ecured.cu/Lenguaje\\_de\\_Programaci%C3%B3n\\_C\\_Sharp](http://www.ecured.cu/Lenguaje_de_Programaci%C3%B3n_C_Sharp)>

49 Tutorial de python. [En línea] septiembre de 2009. [En línea]  
<<http://docs.python.org.ar/tutorial/pdfs/TutorialPython2.pdf>>

50 Introducción al lenguaje de programación Java. [En línea] noviembre de 2014. [En línea]  
<<http://www3.uji.es/~belfern/pdidoc/IX26/Documentos/introJava.pdf>>

51 PHP. [En línea] [En línea] <<http://PHP.net/manual/es/intro-what-is.PHP>>

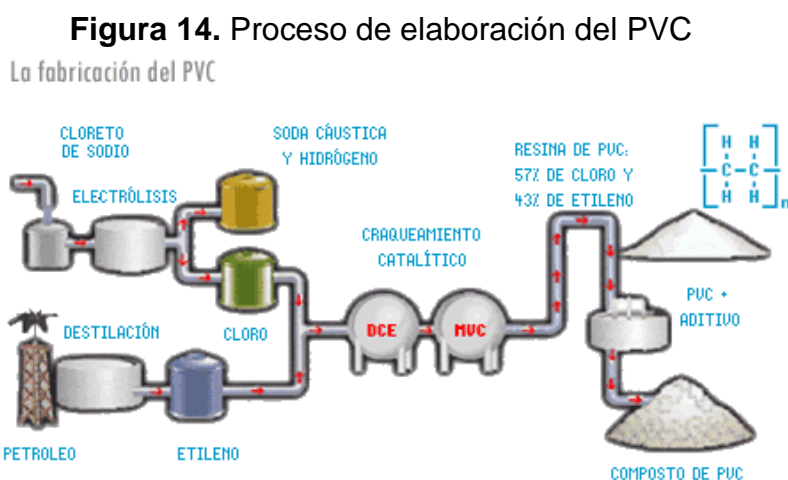
52 Ruby. [En línea] [En línea] URL: <https://www.ruby-lang.org/es/about/>.

construcción de aplicaciones Web ASP, servicios Web XML, aplicaciones para escritorio y aplicaciones móviles<sup>53</sup>.

- F#. es una variante del lenguaje ML para la plataforma .Net, es un lenguaje de programación multi-paradigma<sup>54</sup>.

### 2.1.6 Fabricación de tubos de PVC

La materia prima de los tubos es el poli cloruró de vinilo (PVC) y es uno de los pocos materiales que no es originario totalmente del petróleo, ya que su principal materia prima es la sal marina (57%). El PVC se presenta en forma granular uniforme o en polvo, su presentación puede ser en sacos o bolsas de plástico de 25 kg, aunque puede variar según las necesidades del comprador. El lugar de almacenamiento tiene que ser fresco. En la Figura 14 se muestra el proceso de obtención del PVC<sup>55</sup>.



**Fuente.** Fabricación de PVC. URL.  
[http://www.mbica.com/fabricacion\\_PVC.html](http://www.mbica.com/fabricacion_PVC.html)

<sup>53</sup> Microsoft. Introducción a Visual Studio. [En línea] [En línea] URL: [https://msdn.microsoft.com/es-co/library/aa291755\(v=vs.71\).aspx](https://msdn.microsoft.com/es-co/library/aa291755(v=vs.71).aspx).

<sup>54</sup> Ecured. Lenguaje de programación F sharp. [En línea] URL: [http://www.ecured.cu/Lenguaje\\_de\\_Programaci%C3%B3n\\_F\\_Sharp](http://www.ecured.cu/Lenguaje_de_Programaci%C3%B3n_F_Sharp).

<sup>55</sup> MBI. Fabricación de PVC [En línea] URL: [http://www.mbica.com/fabricacion\\_PVC.html](http://www.mbica.com/fabricacion_PVC.html).

En el proceso de producción de tubos PVC, se ejecuta en el siguiente orden de manera general:

#### 2.1.6.1 Transporte de Materia Prima

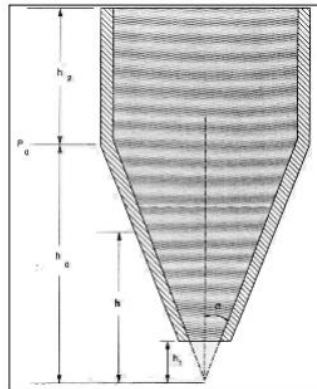
Los sacos que contienen el PVC son transportados por medio de montacargas e ingresado al sistema de alimentación.

#### 2.1.6.2 Sistema de alimentación

Los granos de PVC son ingresados a la extrusora a través de la tolva de alimentación, la cual tiene forma de embudo lo que facilita el deslizamiento del material hasta el cilindro de la máquina.<sup>56</sup>

El material entra en la extrusora a través de la tolva. Básicamente una tolva consiste en un cilindro metálico cuya sección más habitual se muestra en la Figura 15.

**Figura 15.** Tolva de alimentación



**Fuente.** rua.ua.es URL.

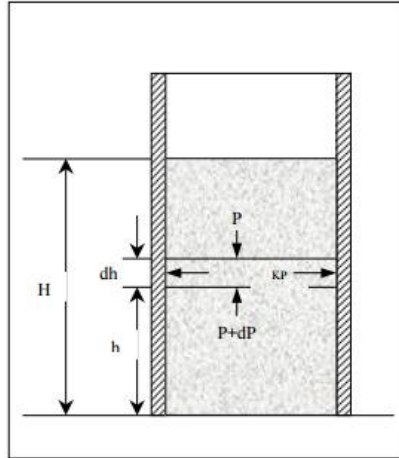
[https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8287/1/tema5\\_extrusi%C3%B3n.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8287/1/tema5_extrusi%C3%B3n.pdf)

Para poder realizar el cálculo de la sobrepresión de extrusión es necesario conocer la presión en la base de la tolva. Primero se realiza la aproximación de que la forma de la tolva es la de un contenedor cilíndrico como se muestra en la Figura 16.

---

<sup>56</sup> Guías empresariales. *Flujo de proceso productivo y escalas de producción*. [En línea]  
URL: <http://www.contactopyme.gob.mx/guiasempresariales/guias.asp?s=14&guia=104&giro=10&ins=985>.

**Figura 16.** Aproximación de la tolva a un contenedor cilíndrico



**Fuente.** rua.ua.es

[https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8287/1/tema5\\_extrusi%C3%B3n.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8287/1/tema5_extrusi%C3%B3n.pdf)

Para un cilindro lleno con un fluido conocido, la variación de la presión estática es:

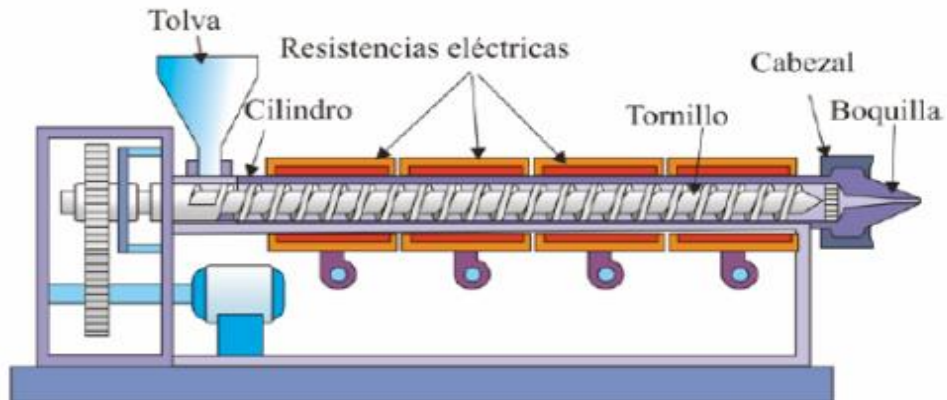
$$P = \rho g(H - h) \quad (1)$$

Permaneciendo constante este valor a lo largo de una misma sección situada a la misma altura  $h$ .

### 2.1.6.3 Extrusión

Se conoce como extrusión el proceso mediante el cual un material después de ser fundido es forzado a pasar por una boquilla con el fin de obtener un objeto de sección transversal constante y con una longitud predefinida. Para cumplir con este proceso se utilizan las máquinas conocidas como extrusoras, aunque existen varios tipos. En la Figura 17 se muestra dicha extrusora con sus partes.

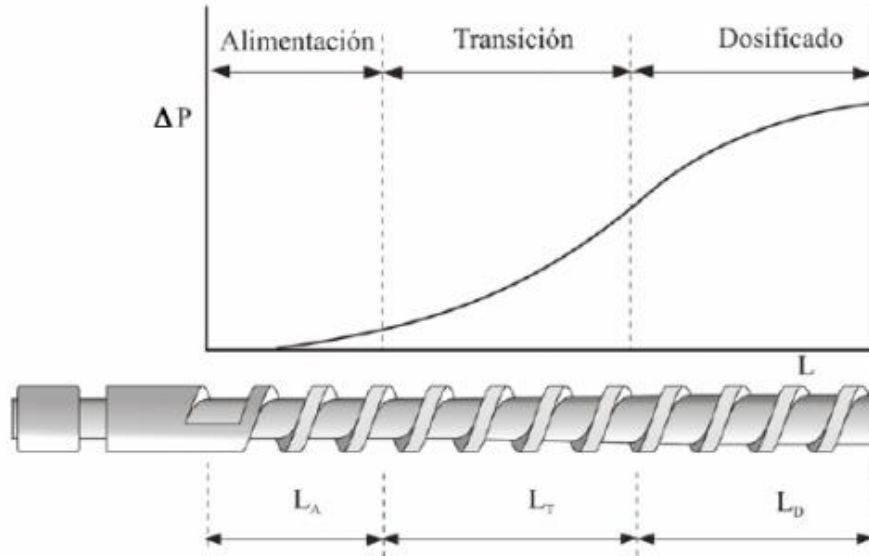
**Figura 17.** Partes de la extrusora



**Fuente.** Extrusión. URL. <http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>

El husillo es quien se encarga de las principales funciones dentro de la extrusora, y a lo largo de su eje se aprecian tres zonas, como lo muestra la Figura 18.

**Figura 18.** Cambio de presión a través de las diferentes zonas del husillo



**Fuente.** Tecnologiaadi. URL. <http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>

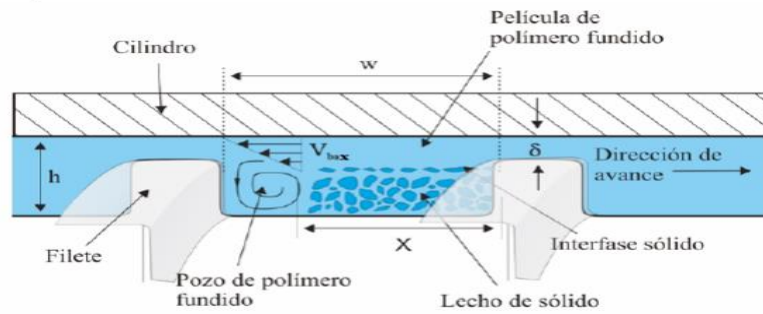
La primera zona, la de alimentación es por donde se ingresa el material, en este caso PVC a una presión ambiente, donde se calienta y se comprime a 140°C hasta llegar a la zona de transición, la temperatura de esta zona debe ser de 170°C, después de esto ya llega fundido y mezclado a la zona final que es la de dosificado que conserva una temperatura de 150 a 180°C, la cual lo envía a la



boquilla que le dará la forma de la sección transversal deseada y un mandril que le da forma al interior. Por último el tubo pasa por un calibrador el cual da las dimensiones específicas<sup>57</sup>.

El diseño del husillo en forma de espiral es lo que posibilita el avance del material, el cual con el roce del cilindro se va calentando y mezclando. Se muestra el corte transversal en la Figura 19, para comprender mejor el avance del material a traves del cilindro.

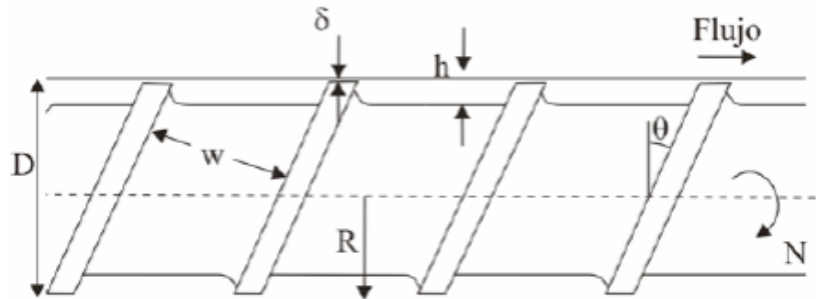
**Figura 19.** Corte transversal de la extrusora



**Fuente.** Tecnologiaadi. URL. <http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>

En las siguientes figuras se muestran las convenciones que se le darán a las variables que actúan sobre el husillo de la Figura 20 y a las medidas del cilindro en la Figura 21, estas se utilizaran para los respectivos análisis matemáticos que se realizan sobre la extrusora.

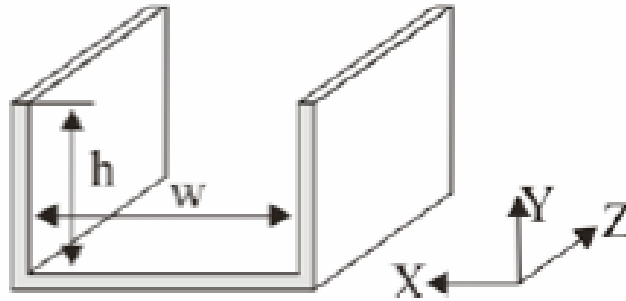
**Figura 20.** Variables que actúan sobre el Husillo



**Fuente.** Tecnologiaadi. URL. <http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>

<sup>57</sup> Beltran, M. Tecnología de polímeros. *Extrusión*. [En línea] <<http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>>

**Figura 21.** Canal dentro del cual actúa el Husillo



**Fuente.** Tecnologiaadi. URL. <http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>

Dónde:

- R= radio del tornillo (husillo)
- D= diámetro del tornillo (husillo)
- $\Theta$  = ángulo del filete del tornillo con la vertical
- w = ancho del canal
- h= profundidad del canal
- $\zeta$  = holgura entre el cilindro y el filete
- N= número de revoluciones a las que gira el tornillo.

Para realizar los respectivos cálculos del caudal, se hace uso de la mecánica de fluidos, para este caso se utiliza la ecuación de Navier-Stokes.

$$\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} = \frac{1}{\eta} \left( \frac{dP}{dZ} \right) \quad (2)$$

Dónde:

- $\frac{dP}{dZ}$  = gradiente de presión a lo largo del canal.
- v= velocidad del fluido en el canal.
- $\eta$  = viscosidad del fluido

Utilizando esta ecuación, si w es mucho mayor a h, se puede obviar la segunda derivada respecto a x.

$$\frac{\partial^2 v}{\partial y^2} = \frac{1}{\eta} \left( \frac{dP}{dZ} \right) \quad (3)$$

Se procede a integrar dos veces:

$$\frac{dv}{dy} = \frac{y}{\eta} \left( \frac{dP}{dZ} \right) + C_1 \quad (4)$$

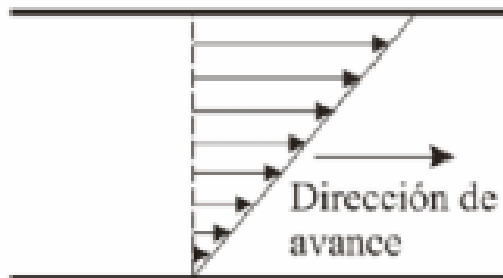
$$v = \frac{y^2}{2\eta} \left( \frac{dP}{dZ} \right) + C_1 y + C_2 \quad (5)$$

Y se obtiene la siguiente expresión de velocidad:

$$v = \frac{V * y}{h} + \frac{y(y - h)}{2\eta} \left( \frac{dP}{dZ} \right) \quad (6)$$

Las velocidades se dividen según el tipo de flujo, en la Figura 22 se muestra el flujo de arrastre el cual se da debido a que el material en su estado fundido se adhiere a las paredes del cilindro<sup>58</sup>.

**Figura 22.** Velocidad del flujo de arrastre



Fuente. Tecnologiaadi. URL. <http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>

Por otro lado se encuentra el flujo de presión que se da debido al cambio de gradiente de presión a lo largo del eje del husillo, puesto que al lado de la boquilla, la presión es mayor por lo tanto el gradiente tiene que hacer que el material vaya hacia atrás, contrario al flujo de arrastre por lo que el perfil de esta velocidad da una forma parabólica, como se muestra en la siguiente Figura 23<sup>59</sup>.

<sup>58</sup> Beltran, M. Tecnología de polímeros. *Extrusión*. [En línea] <<http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>>

<sup>59</sup> Tecnología de los plásticos, marzo 2011, [En línea] <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/2011/03/extrusion-de-materiales-plasticos.html>

**Figura 23.** Velocidad del flujo de presión



Fuente. Tecnologiaadi. URL. <http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>

Por ultimo está el flujo de pérdidas que es menor a los anteriores y no es necesario tenerlo en cuenta. Así que el flujo total será la suma del flujo de arrastre y el flujo de presión, por lo que el perfil de velocidad quedaría como se muestra en la Figura 24<sup>60</sup>.

**Figura 24.** Velocidad del flujo total



Fuente. Tecnologiaadi. URL. <http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>

Obteniendo la velocidad procedemos a calcular el caudal, el cual es área por velocidad.

$$Q = \oint_0^h w * v * dy = \int_0^h \frac{wVy}{h} dy + \int_0^h \frac{wy(y-h)}{2\eta} \left(\frac{dP}{dZ}\right) dy \quad (7)$$

---

<sup>60</sup> Ibid., [en línea]

Se obtiene:

$$Q = \frac{wVh}{2} - \frac{wh^3}{12\eta} \left( \frac{dP}{dZ} \right) \quad (8)$$

Para el flujo de arrastre:

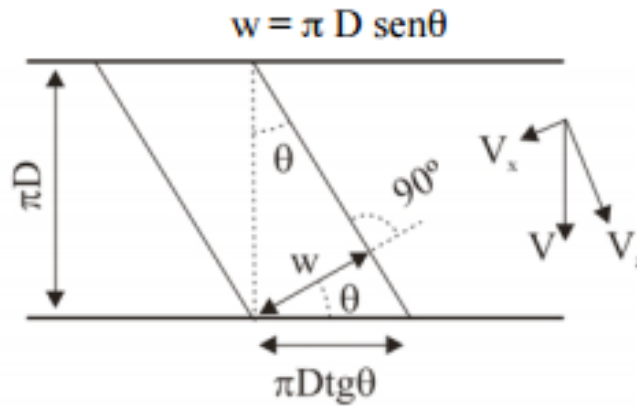
$$Q_D = \frac{wVh}{2} \quad (9)$$

Para el flujo de presión:

$$Q_P = \frac{wh^3}{12\eta} \left( \frac{dP}{dZ} \right) \quad (10)$$

Después de aplicar las ecuaciones, se deben tener en cuenta las consideraciones geométricas propias del tornillo, las cuales se aprecian mejor en la Figura 25.

**Figura 25.** Corte del husillo a lo largo de su eje



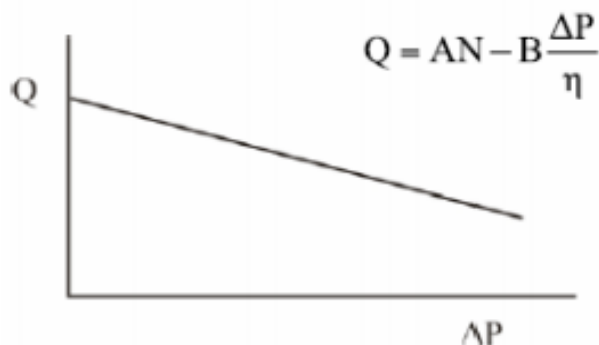
**Fuente.** Universidad de A'lacant. URL: <http://iq.ua.es/>

$$Q = \frac{\pi^2 * D^2 * (\sin \theta * \cos \theta) * h * N}{2} - \frac{h^3 * \pi * D * \sin^2 \theta * \Delta P}{12\eta L} \quad (11)$$

$$Q = AN - B \frac{\Delta P}{\eta} \quad (12)$$

Aplicando la ecuación, se obtiene la recta de operación que se muestra en la Figura 26.

**Figura 26.** Recta de operación de un husillo



Fuente. Tecnologiaadi. URL. <http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>

De la anterior expresión se concluye:

- $L$  que representa la longitud del tornillo, divide en la parte que resta. Entonces mientras más largo el tornillo el caudal obtenido será mejor. Se debe considerar que a mayor longitud el tornillo tendera a pandearse y ya que este no debe rozar las paredes internas del cilindro, no se sobrepasa la longitud de acuerdo al material del husillo.
- El valor de revoluciones por minuto de la máquina ( $N$ ) aparece en el numerador de la ecuación 11 y por tanto conviene que sea grande. Sin embargo esto tiene un límite, ya que a mayores velocidades el material se comprime con más fuerza contra el cilindro y se produce un efecto cizalla que curiosamente reduce la viscosidad del plástico y las rectas operativas que en realidad se empiezan a convertir en curvas que caen abruptamente hacia el eje positivo de la presión dando caudales en realidad más chicos que los esperados.
- La altura del canal multiplica en la primera expresión ecuación 11 pero está al cubo en la segunda, por lo tanto siempre se tratará de disminuir su valor. Usualmente es grande en la zona de alimentación donde tenemos el material en gránulos (mayor volumen) y se va reduciendo a medida que se funde y se llega a la zona de dosificación.

Con estas consideraciones se determinan cuestiones de la máquina que afectan directamente a su producción y podemos armar una tabla de valores típicos como se muestra en la Tabla 2:

**Tabla 2.** Valores típicos

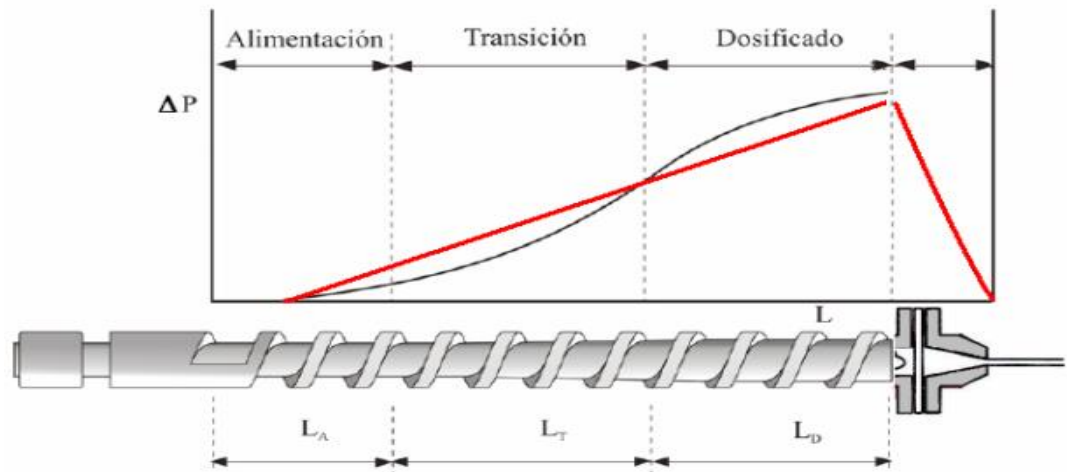
<b>Valores típicos</b>	<b>MIN</b>	<b>MAX</b>	<b>Típicos</b>
<i>L/D (relación largo / diám.)</i>	20	32	24 o 30
<i>D (diámetro int. Del cilindro)</i>	2 cm	90 cm	
<i>La (longitud de la zona de alimentación)</i>	1.5*D	5*D	4*D
<i>Lt (Longitud de la zona de transición)</i>			10*D (para L/D=25)
<i>Relación de compresión</i>	2	4	
<i>Caudal</i>	10 Kg/h	1000 Kg/h	
<i>Rendimiento (pot/Kg)</i>	0.1 KW/Kg	0.2 KW/Kg	
<i>Θ (ángulo del filete)</i>	15°	30°	
<i>N (RPM)</i>	50	150	

**Fuente.** Tecnologíaadi URL. <http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>.

#### 2.1.6.5.1 Cálculos del cabezal y la boquilla

La boquilla contiene la forma del perfil que se desea extruir y en esta se encuentran unas rejillas que funcionan como filtro, en la Figura 27 se muestra la evolución de la presión a lo largo del eje del cabezal.

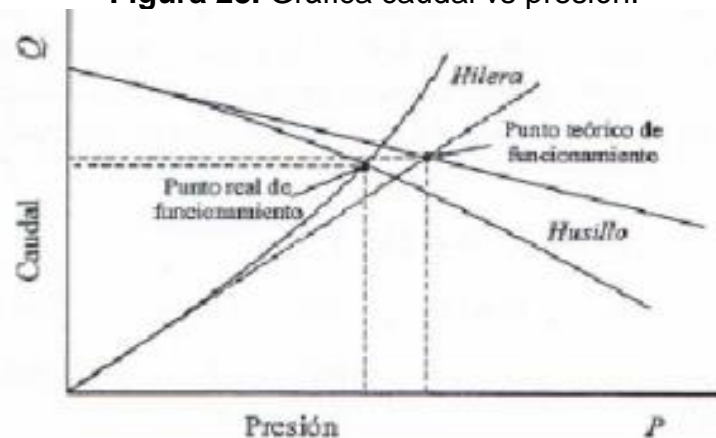
**Figura 27.** Cambio de presión a través de las diferentes zonas del cabezal



**Fuente.** Tecnologíaadi. URL. <http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>.

Como se presenta en la Figura 28, en ese punto toda la presión cae para volver a encontrarse prácticamente con la presión ambiente. Si la boquilla ofrece un orificio de salida muy pequeño el valor alcanzado de presión es elevado. En todos los casos la presión depende de la geometría de esta. En definitiva podemos armar una ecuación que nos dirá cuanto caudal deja pasar la boquilla en función de la presión, de la viscosidad ( $\eta$ ) y de un factor  $K'$  que depende de la geometría de la boquilla<sup>61</sup>, que como se muestra en la Figura 29 es de forma circular.

**Figura 28.** Gráfica caudal vs presión.



<sup>61</sup> Beltran, M. Tecnología de polímeros. *Extrusión*. [En línea] URL: <http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>.



**Fuente.** tecnologiaadi. URL:<http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>

$$Q = \frac{K'}{\eta} \Delta p \quad (13)$$

$$K' = \frac{\pi R^4}{8L_h} \quad (14)$$

**Figura 29.** Forma de la boquilla



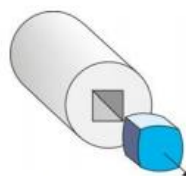
**Fuente.** tecnologiaadi. URL. <http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>

Por la variación de viscosidad en función de la presión y de la temperatura, la relación entre  $\Delta p$  y  $Q$  no es lineal y las curvas no son rectas.

Encontrar el punto de funcionamiento (caudal real que saldrá de la combinación extrusora + boquilla) significa encontrar el punto de corte de las curvas del tornillo (husillo) y la boquilla (hilera). Se hace notar que en el gráfico caudal-presión de la derecha se trazaron dos juegos de curvas husillo-hilera: las rectas matemáticas y las curvas que consideran que la viscosidad varía con la presión.

Relajación Viscoelástica: En la Figura 30 se muestra que la boquilla no tiene exactamente la forma real de la sección de corte de la pieza extraída ya que una vez que el plástico logra superar la obstrucción intenta restablecer su forma en lo que se llama relajación viscoelástica.

**Figura 30.** Hinchamiento por la relajación de sección cuadrada



**Figura 4.31.** Hinchamiento debido a la relajación de un material de sección cuadrada.

**Fuente.** Extrusora URL:<http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>

### 2.1.6.6 Enfriado y Formado.

El tubo todavía caliente pasa por una tina de enfriamiento que tiene circulación de agua y enfría el material hasta hacerlo completamente rígido.

El enfriamiento después de la extrusión, se da por medio de la transferencia de calor que transmite el PVC al fluido encargado de enfriarlo, en este caso agua.

El objetivo es aislar el calor excedente que la tubería conserva a la salida de la calibración. El enfriamiento evita que el tubo se deforme al pasar por el puller, ya que este ejercerá cierta presión sobre el tubo. Se puede encontrar dos tipos de tinas de enfriamiento:<sup>62</sup>

- *Enfriamiento por espreado*
- *Enfriamiento por inmersión*

**Enfriamiento por Espreado.** El tubo pasa por la unidad de enfriamiento, donde varias boquillas rocían el tubo con agua fría. Este método generalmente es usado para tubería de diámetro grande y con velocidades de producción son bajas, de esta manera se da el tiempo suficiente para que las boquillas enfríen el tubo correctamente.<sup>63</sup>

**Enfriamiento por Inmersión.** En este método el tubo pasa por un tanque que contiene agua fría, quedando sumergido y efectuando una transferencia de calor constante. A diferencia del enfriamiento por espreado, este método se usa para tubería de diámetro menor, donde por las velocidades altas de extrusión se requiere de un enfriamiento intenso.

En ambos métodos, se sugiere el cálculo exacto de la longitud del tanque de enfriamiento, utilizando datos como: diámetro, espesor, material de fabricación, velocidad de producción de la tubería y temperatura de agua de enfriamiento. También es común para los dos métodos, el uso de un enfriador y una bomba de recirculación, para poder enfriar el agua que se calienta por el contacto con el plástico, se devuelve a la tina de enfriamiento y se completa el ciclo<sup>64</sup>.

---

62 Beltran, M. Tecnología de polimeros. *Extrusión*. [En línea] <<http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>>

63 Ibid., [en línea]

64 Ibid

### 2.1.6.7 Transporte a corte

A continuación se utiliza un puller para jalar el tubo ya rígido hacia el sistema de corte. Por lo general se emplean orugas o llantas en sistema de arrastre. Lo que permite que el puller pueda tirar del material es un motor con su respectivo driver, que según la potencia de entrada, entregada de la extrusora, debe generar la potencia para el arrastre del tubo<sup>65</sup>.

Se tiene:

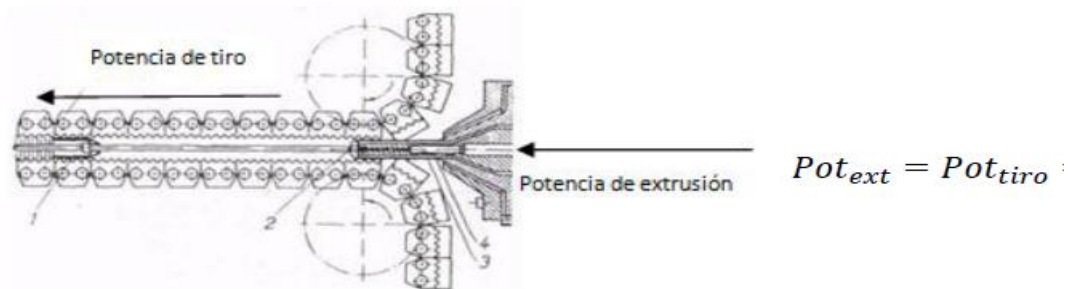
$$Pot = F * V \quad (15)$$

Dónde:

F=Fuerza obtenida

V= velocidad de la línea de extrusión

**Figura 31.** Potencia de extrusión y potencia de arrastre



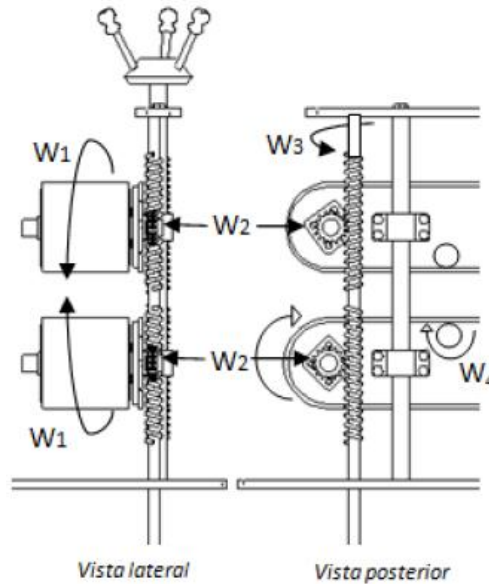
**Fuente.** Diseño y puesta en marcha de un carro de arrastre para una máquina de extrusión.URL.

[http://somim.org.mx/articulos2010/memorias/memorias2012/articulos/pdfs/A1/A1\\_216.pdf](http://somim.org.mx/articulos2010/memorias/memorias2012/articulos/pdfs/A1/A1_216.pdf)

En la Figura 31 se muestra la relación de la potencia de extrusión con la de arrastre, esta potencia es la que tendrá a la entrada el jalador a continuación se muestra en la Figura 32 la vista de las orugas, para comprender como actúan las variables sobre las que se realizan los cálculos.

<sup>65</sup> [En línea] [http://somim.org.mx/articulos2010/memorias/memorias2012/articulos/pdfs/A1/A1\\_216.pdf](http://somim.org.mx/articulos2010/memorias/memorias2012/articulos/pdfs/A1/A1_216.pdf)

**Figura 32.** Vista lateral y frontal de las orugas



**Fuente.** Diseño y puesta en marcha de un carro de arrastre para una máquina de extrusión.URL.

[http://somim.org.mx/articulos2010/memorias/memorias2012/articulos/pdfs/A1/A1\\_216.pdf](http://somim.org.mx/articulos2010/memorias/memorias2012/articulos/pdfs/A1/A1_216.pdf)

Para calcular las velocidades se parte de:

$$V = w * r \quad (16)$$

Dónde:

V= velocidad tangencial

w= velocidad angular

r=radio de giro

Despejando w:

$$W1 = W2 \quad (17)$$

$$W1 = \frac{V_1}{r_1} = W2 = \frac{V_2}{r_2} \quad (18)$$

$$V_2 = W_2 * r_2 \quad (19)$$

Para  $w_4$ :

$$W_4 = \frac{V_4}{r_4} = \frac{V_1}{r_4} \quad (20)$$

Para el cálculo de la velocidad angular del engrane sinfín:

$$\begin{aligned} & Relacion_{sinfín-engrane} \\ &= \frac{No. \text{ de dientes del engrane}}{No. \text{ de cuerdas del sinfín}} \end{aligned} \quad (21)$$

Velocidad angular del Sinfín:

$$W_{SF} = Re_{S-E} * W_E \quad (22)$$

Cálculo de pérdidas:

Después de obtener la potencia con la que el material sale de la extrusora, que debe corresponder a la que el puller es capaz de arrastrar a la entrada, se debe tener en cuenta las pérdidas debidas a los elementos rotativos que tiene el puller.

Ecuación de potencia mecánica para elementos rotativos:

$$Pot = H * w \quad (23)$$

Dónde:

H=Par mecánico

w=Velocidad angular

Encontrando el par que deben ejercer las orugas:

$$H = \frac{Pot}{w} \quad (24)$$

Ecuación de la energía cinética de un cuerpo:

$$T = \frac{1}{2} mV^2 + \frac{1}{2} Iw^2 \quad (25)$$

Ya que los elementos solo tienen movimiento angular:

$$T = \frac{1}{2} Iw^2 \quad (26)$$

Dónde:

$$I_{cilindro} = \frac{1}{2}mr^2 \quad (27)$$

$$I_{cilindro\ hueco} = \frac{1}{2}m(r_1^2 + r_2^2) \quad (28)$$

Se calcula el momento de inercia y la energía cinética, para establecer la energía que se requiere para poner en movimiento los elementos rotativos.

Entonces:

$$P = Hw = Tw \quad (29)$$

Dónde:

T= Energía necesaria para mover a los elementos  
w= Velocidad angular de giro de la pieza en cuestión

Aplicando las ecuaciones a los rodillos, los engranes y el sinfín se obtiene la sumatoria de las potencias que da como resultado la potencia total de la máquina.

#### 2.1.6.8 Corte

El corte de los tubos se realiza una vez efectuada la medición de la longitud que tendrá el tubo, mediante la utilización de sierras de mano o eléctricas, que se van desplazando con el tubo mientras dura la operación y regresan manual o automáticamente al punto de medición una vez realizado el corte.

Para la producción de tubería PVC, al ser una tubería rígida el corte del tubo debe hacerse con precisión en intervalos de longitud iguales.

Para la selección de unidades de corte de tubería rígida y flexible, es necesario tomar en cuenta los siguientes factores:

- El diámetro y espesor de pared
- La materia prima utilizada
- La forma y calidad del corte
- La longitud del corte

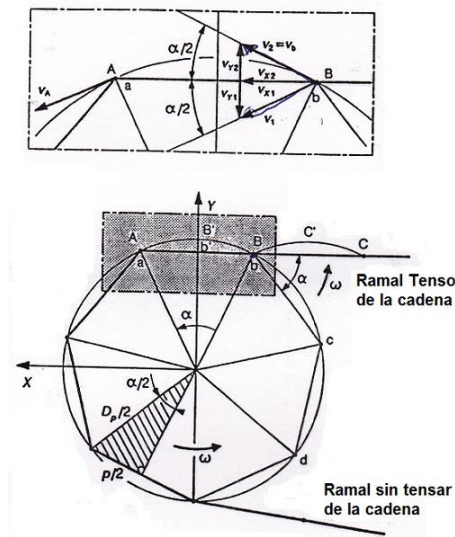
Aunque el diámetro y espesor de la pared son de mayor importancia, para tuberías de PVC se utiliza un tipo de corte por sierra, este tipo de corte genera pequeñas virutas, para evitar que se peguen al tubo, se utilizan mecanismos

donde las cuchillas se insertan en la pared del tubo y giran a alta velocidad, produciendo sólo una viruta que por su tamaño relativamente grande se desprende de la tubería.<sup>66</sup>

Ya que la extrusión es constante la sierra encargada del corte no puede ser fija, y necesita desplazarse de forma paralela al tubo mientras hace el corte, esto se logra por medio de una cadena de transmisión de movimiento, la cual se calcula mecánicamente tomando en cuenta la variación de la trayectoria y la velocidad del eslabón como se explica a continuación.

En toda cadena de transmisión cada vez que se produce el engrane de un eslabón con la rueda dentada, se produce una variación tanto en la trayectoria como la velocidad del eslabón. Es lo que se conoce como "efecto poligonal" que se puede apreciar mejor en la Figura 33.

**Figura 33.** Movimiento de la cadena sobre la rueda dentada



**Fuente.** Tecnología de los plásticos.

**URL:** <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/2011/03/extrusion-de-materiales-plasticos.html>

En la Figura 33 anterior  $b$ ,  $B$  representa puntos pertenecientes a la rueda y a la cadena respectivamente,  $\omega$  es la velocidad angular a la que gira la rueda dentada y  $D_p$  es su diámetro primitivo.

La velocidad lineal de la rueda ( $v_b$ ) viene expresada en función de su velocidad angular de giro ( $\omega$ ) y su diámetro primitivo ( $D_p$ ) como

$$v_b = \frac{D_p \cdot \omega}{2} \quad (30)$$

Por otro lado, y debido al llamado efecto poligonal, la proyección horizontal de la velocidad del punto  $B$  de la cadena ( $v_{Bx}$ ) varía a lo largo del arco de engrane. Esta variación de la velocidad horizontal de la cadena se hace menor conforme aumenta el número de dientes ( $z$ ) de la rueda<sup>67</sup>.

En efecto, si aumenta el número de dientes ( $z$ ) de la rueda, el ángulo entre dientes disminuye, por lo que la geometría poligonal tiende a semejarse a una circunferencia, y el llamado efecto poligonal se atenúa por lo que la variación horizontal de la velocidad de la cadena ( $v_{Bx}$ ) a lo largo del arco de engrane se hace menor.

### Transmisión de esfuerzos

El valor del esfuerzo que transmite la cadena es máximo en la primera articulación del eslabón que engrana con la rueda por el ramal tenso de la cadena, y a partir de ahí este esfuerzo va gradualmente decreciendo conforme avanza por el arco de engrane hasta salir de la rueda por el ramal de la cadena que está menos tensado,<sup>68</sup> esto se aprecia mejor en la Figura 34.

---

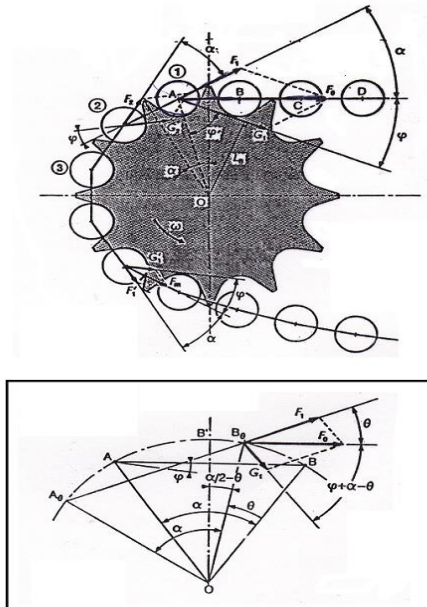
<sup>67</sup> Ibid., [Línea]

<sup>68</sup> Tecnología de los plásticos, marzo 2011, [En línea]

<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/2011/03/extrusion-de-materiales-plasticos.html>



**Figura 34.** Esfuerzos durante el engrane de la cadena en la rueda



**Fuente.** Tecnología de los plásticos.

**URL:** <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/2011/03/extrusion-de-materiales-plasticos.html>

Si  $F_0$  es el esfuerzo máximo que soporta la cadena y que se origina en la primera articulación de la misma al engranar con el primer diente de la rueda al entrar en contacto, el esfuerzo que soporta la cadena en las siguientes articulaciones viene expresado por la siguiente formulación:

$$F_n = \frac{F_0 \cdot \left[ \frac{\sin \varphi}{\sin(\alpha + \varphi)} \right]^n}{\sin(\alpha + \varphi)} \quad (31)$$

Siendo  $n$  el número de articulación de la cadena.

Por otro lado, la cadena origina una reacción sobre la rueda dentada al engranar en los dientes, que viene expresada por:

$$G_n = F_0 \cdot \left[ \frac{\sin \varphi}{\sin(\alpha + \varphi)} \right]^{n-1} \quad (32)$$

Ambos valores, tanto esfuerzos entre las articulaciones de la cadena ( $F_n$ ) como las reacciones sobre la rueda ( $G_n$ ), van decreciendo paulatinamente desde el ramal tenso de la cadena hacia el ramal menos tenso.

Se comprueba que en una de las articulaciones la reacción ( $G_n$ ) sobre la rueda llega a ser radial, es decir, la articulación de la cadena aprieta el fondo de la rueda. En el resto de articulaciones la reacción de la cadena sobre la rueda se realiza sobre el flanco de los dientes.

El desgaste progresivo de los dientes hace que la reacción sobre el flanco se realice cada vez a una mayor altura, llegando el momento en que al ser la holgura tan importante la cadena salte el diente y se salga de la rueda.

Por otro lado, la composición del esfuerzo total ( $F_0$ ) que soporta la cadena, incluye a su vez los siguientes tipos de esfuerzos según el origen:

- Una componente útil o esfuerzo útil asociado al par transmitido ( $F_u$ ).
- Otra componente del esfuerzo asociado a la fuerza centrífuga de la cadena ( $F_c$ ).
- Una última componente asociada al peso propio de la cadena o esfuerzo de la catenaria ( $F_p$ ). Esta componente del esfuerzo en las cadenas de transmisión de potencia que suelen ser más corta es despreciable, pero en las cadenas de manutención y de carga, que son más largas y pesadas, habrá que considerarlo.

El esfuerzo total ( $F_0$ ) en la cadena se obtiene sumando las componentes anteriores:

$$F_0 = F_u + F_c + F_p \quad (33)$$

### Potencia transmitida

La potencia transmitida por la cadena viene determinada por el esfuerzo útil ( $F_u$ ) y su velocidad lineal promedio ( $v$ ):

$$P = F_u \cdot v \quad (34)$$

Siendo ( $F_u$ ) el esfuerzo útil asociado al par de fuerza transmitido, y ( $v$ ) la velocidad lineal promedio de la cadena, que a su vez puede ser expresada en función de la velocidad angular de giro ( $\omega$ ) y el diámetro primitivo ( $D_p$ ) de la rueda dentada como:

$$v = \frac{D_p \cdot \omega}{2} \quad (35)$$

No obstante, para el cálculo y diseño de las cadenas de transmisión se usará la potencia corregida de cálculo ( $P_c$ ), obtenida a partir de la potencia transmitida ( $P$ ) anterior, afectada por unos coeficientes que tendrá en cuenta diversos aspectos del montaje y uso de la cadena:

$$P_c = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot P \quad (36)$$

A continuación se expone cómo obtener los valores de los anteriores coeficientes:

### **Coeficiente $K_1$**

Tiene en cuenta que el número de dientes de la rueda pequeña o piñón sea distinto de 19. En efecto, si el número de dientes del piñón es igual a 19 el coeficiente ( $K_1$ ) toma de valor la unidad ( $K_1 = 1$ ). En caso contrario, se puede tomar como primera aproximación para el valor de ( $K_1$ )<sup>69</sup> la proporcionada por la siguiente expresión:

$$K_1 = \frac{19}{z} \quad (37)$$

Siendo ( $z$ ) el número de dientes de la rueda pequeña o piñón.

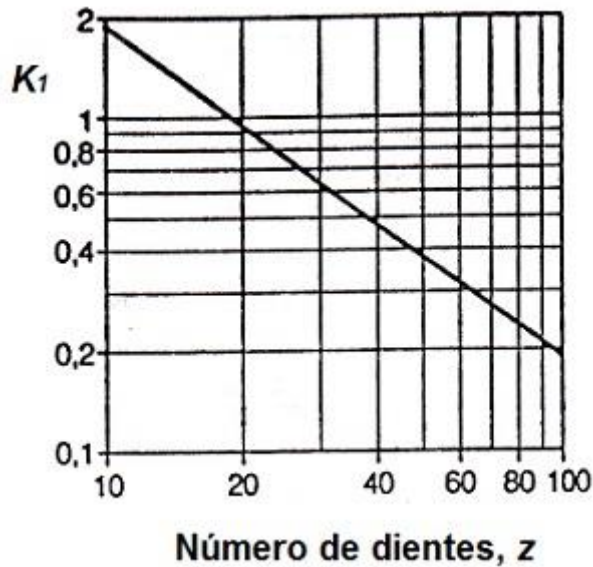
Como segunda opción para calcular el coeficiente ( $K_1$ ) se puede emplear la siguiente grafica de la Figura 35<sup>70</sup>.

---

<sup>69</sup> Transmisión por cadenas. Cálculos y diseño, [En línea] URL: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn127.html>

<sup>70</sup> Ibid., [Línea]

**Figura 35.** Gráfica Coeficiente  $K_1$

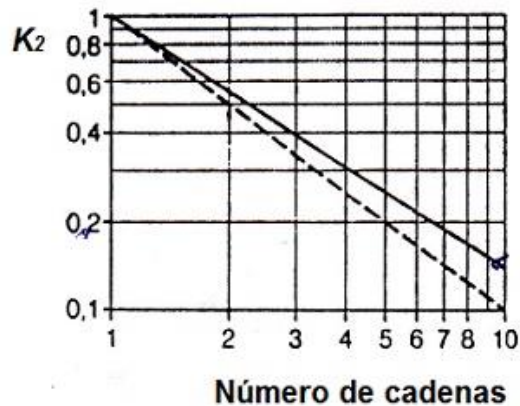


**Fuente.** Ingemecánica. Transmisión por cadenas, calculo y diseño URL: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn127.html>

### Coeficiente $K_2$

Es el coeficiente de multiplicidad que tiene en cuenta el número de cadenas empleadas en la transmisión (si es simple, es decir, con una cadena, o bien si es una transmisión con doble cadena, o triple...) como se muestra en la Figura 36<sup>71</sup>.

**Figura 36.** Gráfica Coeficiente  $K_2$



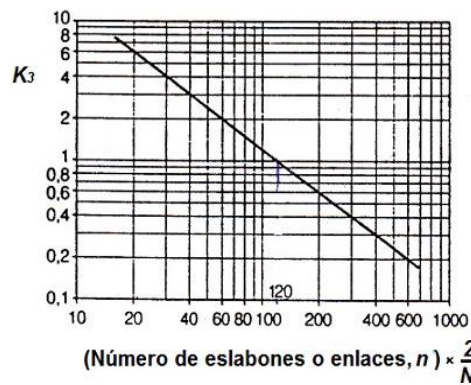
**Fuente.** Ingemecánica. Transmisión por cadenas, calculo y diseño URL: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn127.html>

<sup>71</sup> Ibid., [Línea]

### Coeficiente $K_3$

Tiene en cuenta el número de eslabones o enlaces que conforman la cadena, como se ve en la Figura 37<sup>72</sup>.

**Figura 37.** Gráfica Coeficiente  $K_3$



**Fuente.** Ingemecánica. Transmisión por cadenas, calculo y diseño URL: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn127.html>

Siendo  $n$  el número de eslabones o enlaces de la cadena y  $N$  es el número de ruedas de la transmisión.

### Coeficiente $K_4$

Es el factor de servicio que tiene en cuenta las condiciones en que trabaja la transmisión, como se muestra a continuación en la Tabla 3<sup>73</sup>.

**Tabla 3.** Tabla Coeficiente  $K_4$

Coeficiente $K_4$ , Factor de servicio				
Cargas	Máquinas motrices	Motores de combustión interna de transmisión o mecánica		
	Máquinas que reciben	Motor hidráulico de	4 cilindros o mas	Menos de 4 cilind

<sup>72</sup> Ibid., [Línea]

<sup>73</sup> Ibid., [Línea]

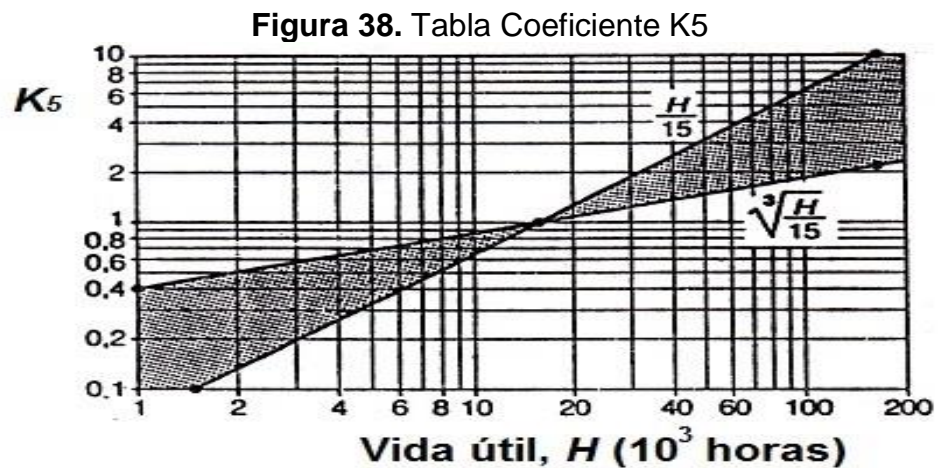
		turbina		ros
Regulares	Máquinas de impresión	1.00	1.10	1.30
	Bombas y compresores			
	Calandras para papel			
	Escaleras metálicas			
	Agitadores de líquido			
Irregulares	Hormigonera	1.40	1.50	1.70
	Molinos de bola			
	Bombas y compresores de 3 o más pistones			
	Cizallas, prensas			
	Agitadores de solices			
	Cribas vibratorias			
Luz	Excavadoras	1.80	1.90	2.10
	Cepilladoras			
	Molinos de			

	martillo y cilindros			
	Bombas y compres ores de 1 pistón			
	Extrusió n de petróleo			

**Fuente.** Ingemecánica. Transmisión por cadenas, calculo y diseño URL:  
<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn127.html>

### Coeficiente $K_5$

Es el coeficiente de duración en función de la vida útil prevista para la cadena, como se en la Figura 38<sup>74</sup>.



**Fuente.** Ingemecánica. Transmisión por cadenas, calculo y diseño URL:  
<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn127.html>

<sup>74</sup> Ibid., [Línea]

Una vez obtenido los valores de los distintos coeficientes se calcula el valor de la potencia corregida de cálculo ( $P_c$ ) a partir de la expresión siguiente como ya se ha visto:

$$P_c = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot P \quad (38)$$

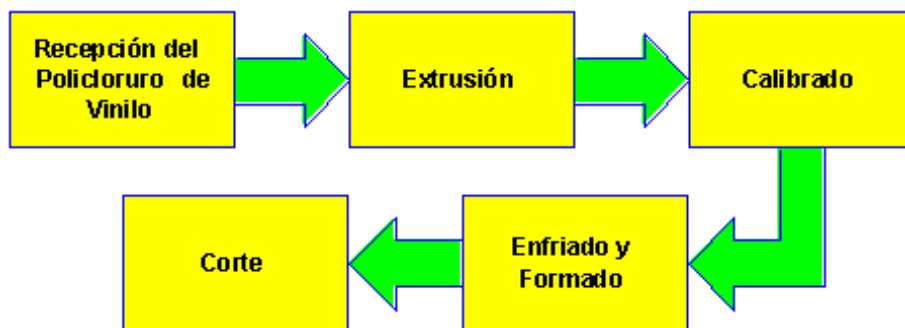
Con el valor de la potencia corregida de cálculo ( $P_c$ ) obtenida y la velocidad de giro de la rueda pequeña o piñón se entra en las siguientes tablas de las que se obtiene la serie y tipo de cadena necesaria y su paso.

#### 2.1.6.9 Acampanado

El sistema de unión o junta de espiga solo se lleva a cabo en ciertas referencias de tubería PVC, donde se lleva a cabo proceso de achaflanado y acampanado.

Estos pasos son los pilares en la producción de tubos de PVC<sup>75</sup>, en la Figura 39 se enseña un esquema del proceso.

**Figura 39.** Flujo del material



**Fuente.** Flujo del proceso productivo y escalas de producción. URL.  
<http://www.contactopyme.gob.mx/guiasempresariales/guias.asp?s=14&guia=104&giro=10&ins=985>

<sup>75</sup> Instituto Nacional del Emprendedor. [En línea] 31 de Agosto de 2011.  
<http://www.contactopyme.gob.mx/guiasempresariales/guias.asp?s=14&guia=104&giro=10&ins=985>.



## 2.2 MARCO LEGAL

A continuación se encuentran las normativas de seguridad industrial y licenciamiento de software, que se deben tener en cuenta, primero, para el debido diseño y modificación de espacios que plantea este trabajo por medio de la aplicación de realidad aumentada y segundo, para la protección de propiedad intelectual.

### 2.2.1 Seguridad Industrial

La seguridad en planta es una de las actividades de mayor importancia dentro de una compañía industrial puesto que generalmente se encuentran en funcionamiento constante varios tipos de maquinaria, esta representa una fuente potencial de peligro para los trabajadores, es por eso que en un proyecto de instalación industrial o de distribución en planta se debe tener en cuenta cierta normativa, establecida con el fin de disminuir todos los posibles riesgos.

- **CÓDIGO SUSTANTIVO DEL TRABAJO. Art. 108 Lit 11**, Indicaciones para prevenir accidentes de trabajo<sup>76</sup>.
- **LEY 9 DE 1979, Código sanitario nacional, Art. 90 – 97**, De las edificaciones destinadas a lugares de trabajo<sup>77</sup>
- **RESOLUCIÓN 2400 DE 1979**, Disposiciones sobre vivienda, higiene y seguridad industrial en los establecimientos de trabajo, Título V, De los colores de seguridad<sup>78</sup>
- **DECRETO 614, DE 1984**. Por el cual se determinan las bases para La organización y administración de Salud Ocupacional en el país.<sup>79</sup>
- **DECRETO 1295 DE 1994**, Sistema general de riesgos profesionales.<sup>80</sup> (21)
- **ICONTEC NTC 1867**: sistemas de señales contra incendio, instalación, mantenimiento y uso.<sup>81</sup>

---

76 Alcaldía de Bogotá. Código sustantivo del trabajo. [En línea]

URL:<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=33104>.

77 Ibid., [en línea]

78 Ministerio de trabajo y seguridad social. [En línea]

<http://www.ilo.org/dyn/travail/docs/1509/industrial%20safety%20statute.pdf>

79 Alcaldía de Bogotá. *Bogotá Jurídica digital*. [En línea] URL: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/>

80 Ibid., [en línea]

81 ICONTEC. Norma Técnica Colombiana. *Higiene y seguridad, sistema de señales contra incendios, instalación, mantenimiento y usos*[En línea] URL:<http://docplayer.es/3236071-Norma-tecnica-colombiana-1867.html>.

- **ICONTEC NTC 3174:** identificación de tuberías y servicios.<sup>82</sup>
- **ICONTEC NTC 1461:** HSI símbolos, dimensiones y disposición para señales de seguridad.<sup>83</sup>

### 2.2.2 Licenciamiento de Software

El software puede definirse como un conjunto de instrucciones destinadas a solucionar necesidades puntuales, por lo tanto su uso y reproducción debe estar sujeto a normas que respalden su autoría.

A continuación se presentan varias normas establecidas para la protección de la propiedad intelectual, de acuerdo a la legislación nacional e internacional y la constitución de la nación Colombiana.

- **Ley 23 de 1982**, artículo 2 señala: Los derechos de autor recaen sobre las obras científicas, literarias y artísticas las cuales comprenden todas las creaciones del espíritu en el campo científico, literario y artístico, cualquiera que sea el modo o forma de expresión y cualquiera que sea su destinación...” Para ilustrar lo que es concebido como obra, la misma ley trae ejemplos en este artículo, y termina diciendo, que los derechos de autor protegen “toda producción del dominio científico, literario o artístico que pueda reproducirse, o definirse por cualquier forma de impresión, por fonografía, radiotelefonía o cualquier otro medio conocido o por conocer. Los derechos de autor consagra dos tipos de derechos: morales y patrimoniales.<sup>84</sup>
- **Ley 170 de 1994** por medio de la cual se aprueba por el acuerdo por el que se establece la organización mundial del comercio (OMC). Artículo 10:1. “Los programas de ordenador sean programas fuente o programas objeto, serán protegidos como obras literarias en virtud del convenio de verna (1971)”.<sup>85</sup>
- **Ley 44 de 1993** especifica penas entre dos y cinco años de cárcel, así como el pago de indemnizaciones por daños y perjuicios a quienes comentan el delito de piratería de software.<sup>86</sup>

---

<sup>82</sup> Ibid., [en línea]

<sup>83</sup> Ibid., [en línea]

<sup>84</sup> Alcaldía de Bogotá. *Bogotá Jurídica digital*. [En línea] URL: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/>

<sup>85</sup> Negociaciones comerciales multilaterales. [En línea] URL: [http://www.mintic.gov.co/portal/604/articles-15190\\_documento.pdf](http://www.mintic.gov.co/portal/604/articles-15190_documento.pdf).

<sup>86</sup> Alcaldía de Bogotá. *Bogotá Jurídica digital*. [En línea] URL: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/>

- **Ley 603 de 2000** especifica que todas las empresas deben reportar en sus Informes Anuales de Gestión el cumplimiento de las normas de propiedad intelectual y derechos de autor. La Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales (DIAN) quedó encargada de supervisar el cumplimiento de estas leyes, mientras que las Superintendencias quedaron responsables de vigilar y controlar a estas empresas.<sup>87</sup>

---

<sup>87</sup> Ibid.,[en línea]



### 3 MODELAMIENTO DEL SISTEMA

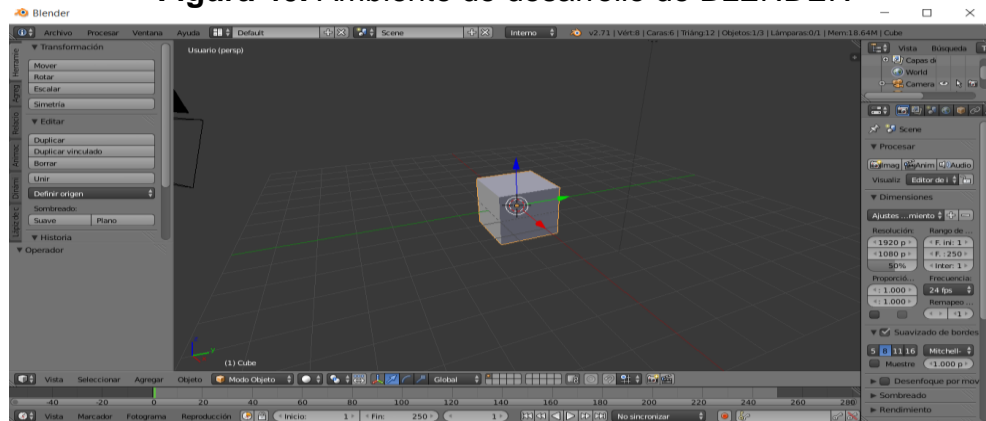
En el siguiente capítulo presenta el modelamiento en diseño asistido por computador CAD de los objetos que serán proyectados en la realidad aumentada; para esta monografía de grado se ha planteado trabajar con máquinas que hacen parte de una línea de extrusión de PVC, cuyos modelos están basados en maquinaria real que hace parte de las instalaciones de la empresa Tecnosa.

#### 3.1 MODELAMIENTO VIRTUAL DE LAS MÁQUINAS EN BLENDER

Para la construcción de la realidad aumentada se parte por el modelamiento de las máquinas de una línea de extrusión, la cual está compuesta de una extrusora que moldea el tubo, un tanque de refrigeración que solidifica el material, un carro de arrastre que mantiene en trayectoria al tubo, una sierra que lo corta a una longitud determinada y finalmente una acampanadora que le da forma de falda a uno de sus extremos.

El modelado de las máquinas y sus respectivas piezas fueron llevados a cabo en el programa multi-informático BLENDER, especializado en creación de arquitecturas 3D, ya que posee un amplio rango de herramientas para esculpir figuras geométricas, planos y mallas para obtener figuras en 3D en la forma y color deseado. Además permite hacer animaciones, lo cual será útil para dar cumplimiento a los objetivos propuestos en el trabajo, su interfaz gráfica se muestra en la Figura 40.

**Figura 40.** Ambiente de desarrollo de BLENDER

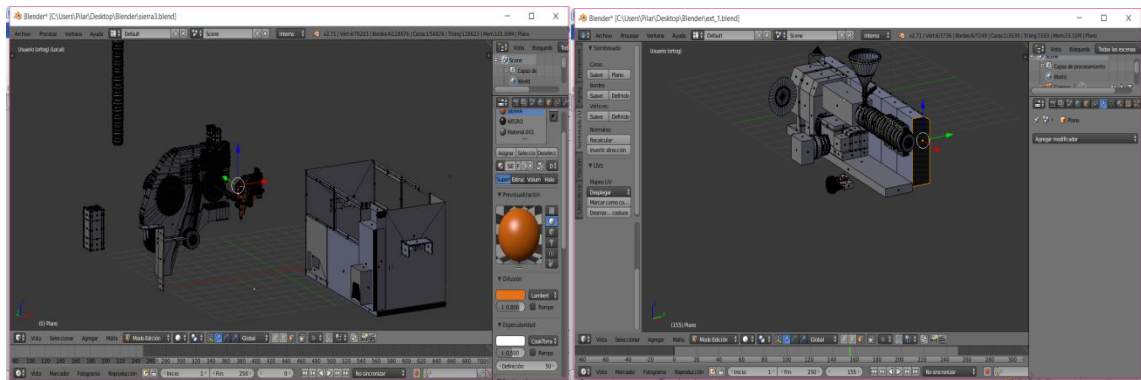


**Fuente.** Propia del autor.

Para la realización de las máquinas se utilizó como base las figuras básicas, y por medio del comando *Transformation manipulators* se dimensionan las piezas al tamaño deseado. Una de las ventajas de utilizar este programa de modelamiento, es que permite trabajar en dos modos, *el de edición* y *el de objeto*, donde el primero, afecta la geometría del objeto y el segundo, hace las visualizaciones desde todos los puntos dimensionales logrando detallar la pieza en conjunto y hacer ajustes.

Se utiliza la herramienta subdivide (Ctrl+R), para crear vértices y modificar la pieza y el comando *boolean* (posee tres acciones: union, difference e intersect), para realizar huecos en las piezas (comando difference), en la Figura 41 se muestra el proceso de modelamiento de las máquinas usando las herramientas nombradas anteriormente.

**Figura 41.** Proceso de modelamiento de las máquinas Extrusora y sierra en el ambiente BLENDER



**Fuente.** Propia del autor.

Una vez obtenidos los segmentos principales de la máquina, se realiza el acople de todas las partes del objeto usando la función *join* (Ctrl+J), para que las piezas permanezcan juntas, permitiendo mover la máquina como un solo objeto.

### 3.1.1 Extrusora de PVC

Se encarga de fundir el polímero, el cual es alimentado desde la tolva de la máquina y es fundido y mezclado debido al empuje generado por la acción giratoria del husillo dentro del cañón o cámara de calentamiento. Finalmente el material sale al otro extremo de la máquina a través de un molde que le da un diámetro predefinido al tubo de PVC.

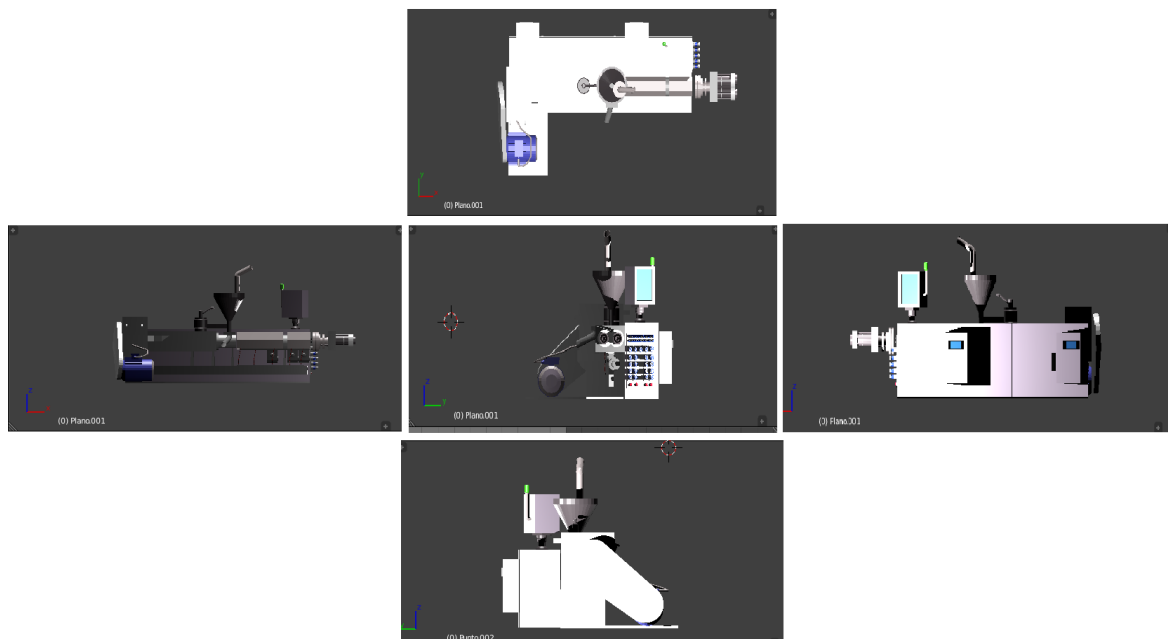
Este proceso requiere de una máquina de gran tamaño, en la Tabla 4 se puede apreciar las dimensiones de la máquina que sirven para dimensionar el tamaño que real de la extrusora y en la Figura 42 se observa en vistas isométricas el modelo realizado de la máquina, teniendo en cuenta las dimensiones mostradas para tener un modelo lo más parecido a la máquina real.

**Tabla 4.** Dimensiones de la Extrusora

<b>DIMENSIONES DE LA MÁQUINA</b>	
<b><i>Longitud de Máquina (mm)</i></b>	4600 (sin molde) 5900 (con molde)
<b><i>Anchura de Máquina (mm)</i></b>	1400
<b><i>Altura de Máquina (mm)</i></b>	1500
<b><i>Altura de extrusión (mm)</i></b>	1100+-50

**Fuente.** Tecnosa S.A.S

**Figura 42.** Vistas isométricas. Extrusora de tubos de PVC Kabra

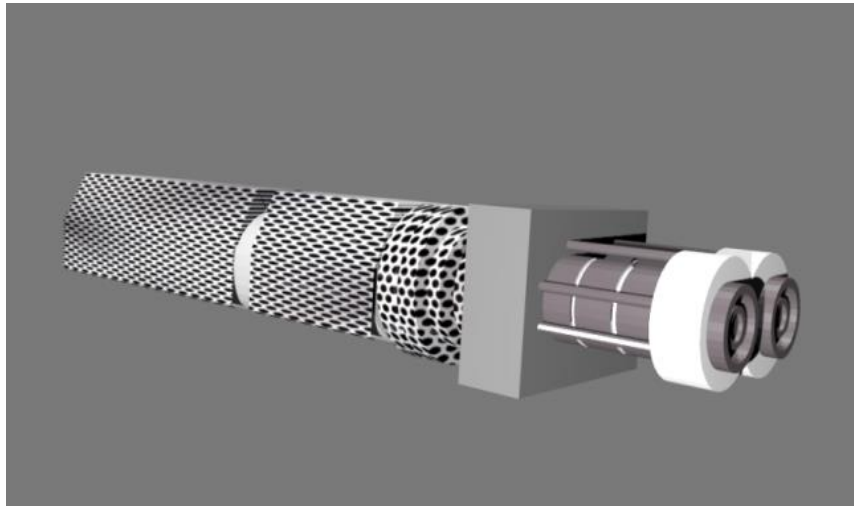


**Fuente.** Propia del autor.

A continuación se muestran las piezas principales que están contenidas en la extrusora:

Como se vio en el capítulo 2 (*Fabricación de tubos de PVC*), el molde junto con el husillo son parte esencial del funcionamiento de la extrusora y del producto de esta entrega. En la Figura 43 se muestra el modelo CAD de esta pieza.

**Figura 43.** Husillo doble



**Fuente.** Propia del autor.

La extrusora se alimenta, como se mencionaba en el capítulo anterior, mediante la tolva, en la Figura 44 se muestra el modelado CAD de esta pieza.

**Figura 44.** Sistema de alimentación

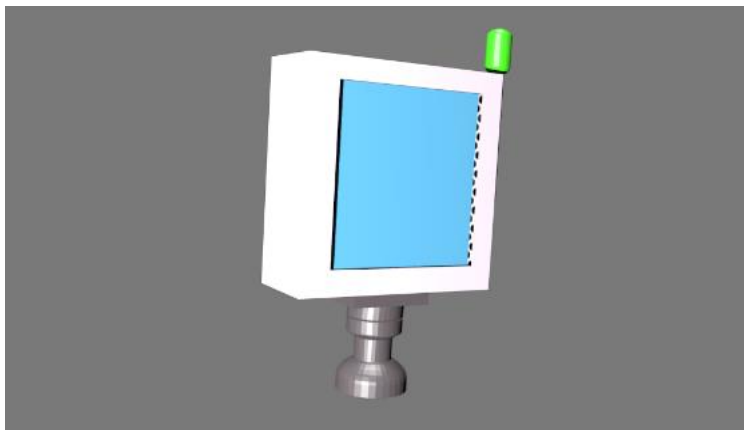


**Fuente.** Propia del autor.



La pantalla de supervisión que se ve en la Figura 45, muestra datos del estado actual de la máquina, como temperaturas de molde y barril, rpm del dosificador y del motor principal. Además de la temperatura y presión de la masa. (Polímero fundido).

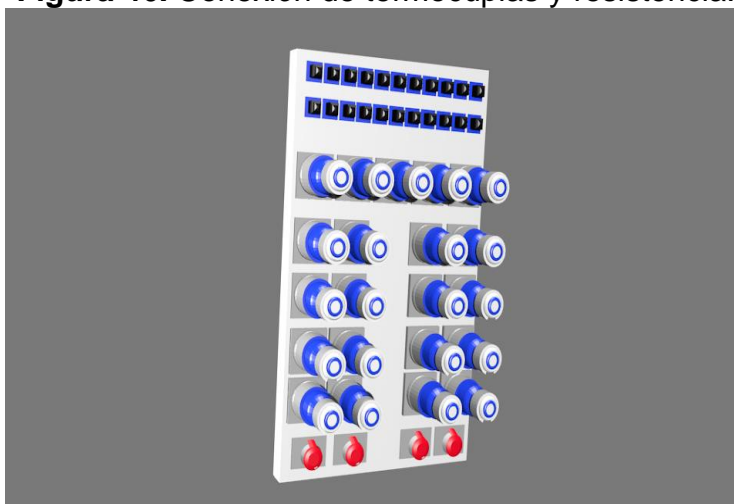
**Figura 45.** Pantalla de supervisión



**Fuente.** Propia del autor.

La conexión de termocuplas y resistencias puede observarse en la Figura 46 como un prototipo de una pieza real.

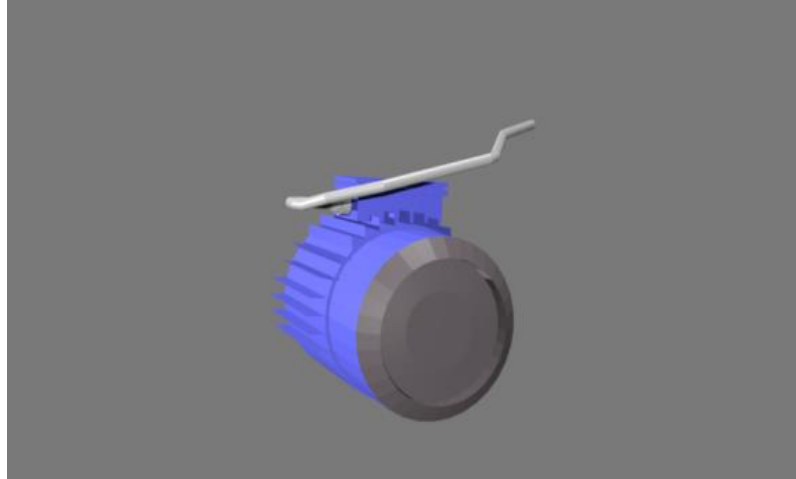
**Figura 46.** Conexión de termocuplas y resistencia.



**Fuente.** Propia del autor.

Motor Principal y caja reductora de la extrusora presentado en la Figura 47, generan el movimiento el en tornillo, con el cual se plastifica el compuesto PVC.

**Figura 47.** Motor Principal y caja reductora de la extrusora



**Fuente.** Propia del autor.

### 3.1.2 Sistema de Refrigeración

El sistema de refrigeración es un componente esencial en la producción de tubos PVC lisos, ya que enfría el material por rocío de agua, impidiendo que el tubo pierda la forma durante todo el proceso de producción. La temperatura máxima en el tanque no debe superar los 15°C.

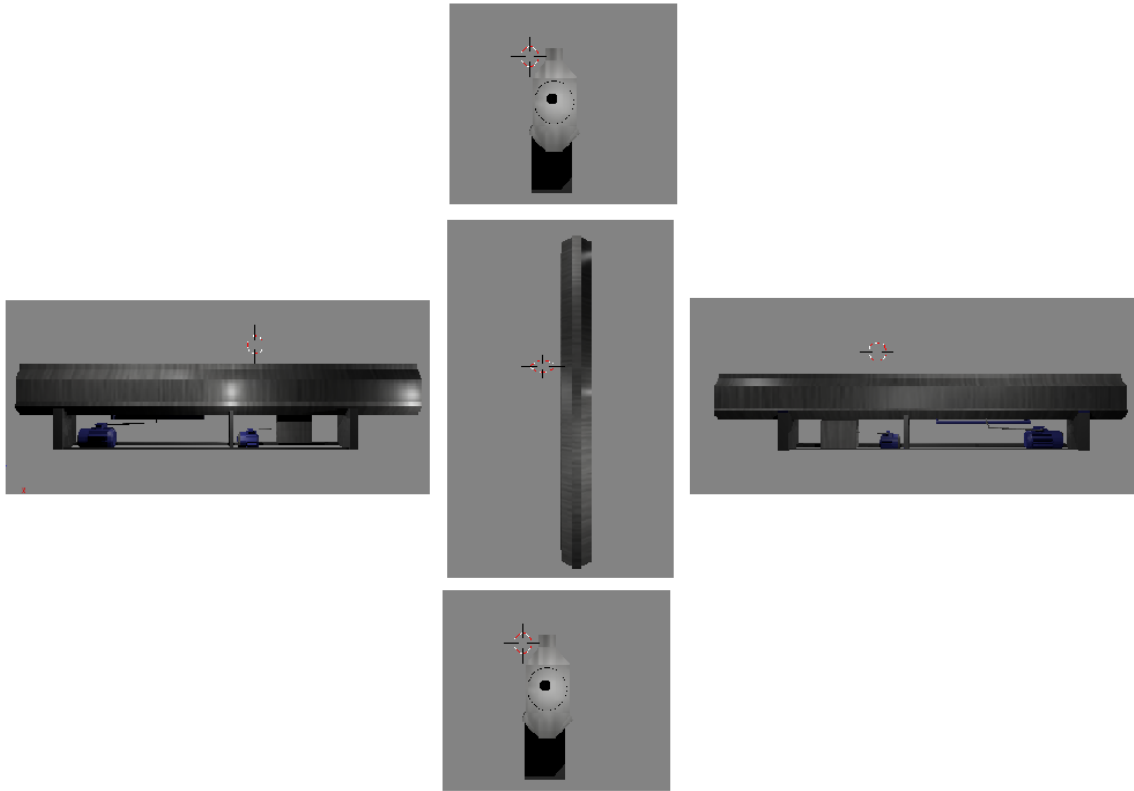
En la Tabla 5 se puede apreciar las dimensiones reales para el tanque de refrigeración real en el cual está basado este modelo y en la Figura 48 se observa las vistas isométricas del mismo.

**Tabla 5.** Dimensiones del sistema de refrigeración

<b>DIMENSIONES DE LA MÁQUINA</b>	
<b><i>Longitud de Máquina (mm)</i></b>	9000
<b><i>Anchura de Máquina (mm)</i></b>	4500
<b><i>Altura de Máquina (mm)</i></b>	1250
<b><i>Altura de extrusión (mm)</i></b>	1100+-50

**Fuente.** Tecnosa S.A.S

**Figura 48.** Vistas isométricas. Sistema de refrigeración Kabra



**Fuente.** Propia del autor.

### 3.1.3 Carro de arrastre de tubos

El carro de arrastre se encarga de mantener los tubos en su trayectoria, sacándolos de la extrusora y llevándolos a proceso de corte.

Su sistema es sencillo se basa en dos orugas que se pueden acercar o alejar, y cuya presión depende del diámetro del tubo para no deformarlo. Las orugas giran mediante motores eléctricos y el sistema de separación de las orugas se maneja neumáticamente.

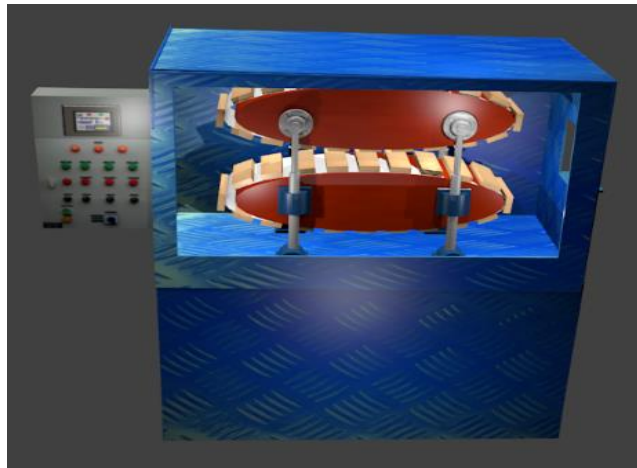
En la Tabla 6 se puede apreciar las dimensiones de la máquina real, que sirvió de modelo para el prototipo de la máquina virtual y en la Figura 49 se observa las vistas isométricas de esta.

**Tabla 6.** Dimensiones de Carro de Arrastre

<b>DIMENSIONES DE LA MÁQUINA</b>	
<b><i>Longitud de Máquina (mm)</i></b>	1800
<b><i>Anchura de Máquina (mm)</i></b>	1860
<b><i>Altura de Máquina (mm)</i></b>	1800
<b><i>Altura de extrusión (mm)</i></b>	1100+-50

**Fuente.** Propia del autor.

**Figura 49.** Carro de arrastre de tubos kabra



**Fuente.** Propia del autor.

### ***Piezas***

A continuación se muestra cada una de las piezas principales que están contenidas en el carro de arrastre:

El panel de control-tablero eléctrico que se puede ver en la Figura 50 muestra la velocidad del puller, además del control de apertura o cierre del mismo y el movimiento hacia adelante o reversa.

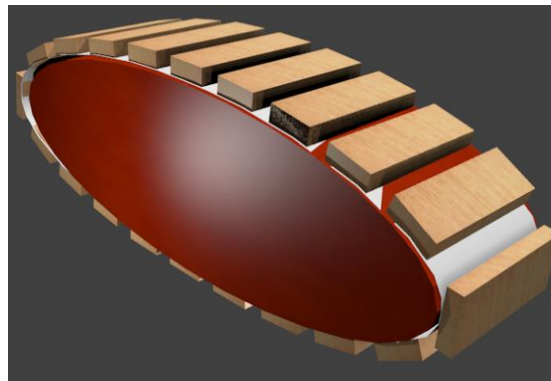
**Figura 50.** Panel de control-tablero eléctrico



**Fuente.** Propia del autor.

Esta oruga de arrastre es presentada en la Figura 51 como un modelo el cual se basa como una pieza a escala real.

**Figura 51.** Oruga de arrastre



**Fuente.** Propia del autor.

El sistema de separación de orugas es presentada en la Figura 52 como un modelo el cual se basa como una pieza a escala real.

**Figura 52.** Sistema de separación de orugas



**Fuente.** Propia del autor.

#### **3.1.4 Sierra**

La sierra se encarga del corte de la tubería con dispositivos especiales que garantizan que el corte se haga siempre a la misma longitud. En tubería lisa se usa los encoder, en tubería corrugada, sensores capacitivos que cuentan la cantidad de valles de cada cresta y en ambos casos los pulsos corresponden a una longitud determinada.

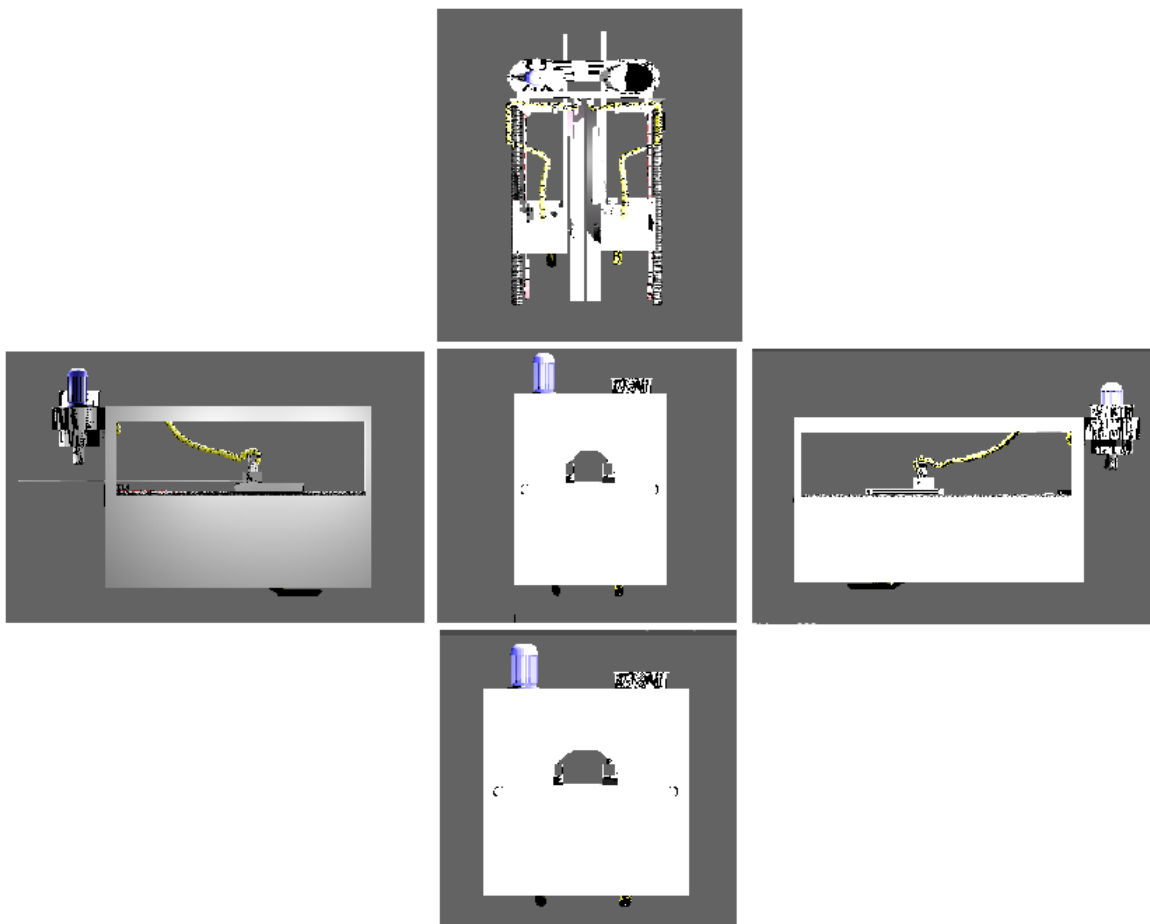
En la Tabla 7 se muestran las dimensiones del tamaño real de la máquina en la Figura 53 se observa las vistas isométricas del modelo realizado en Blender.

**Tabla 7.** Dimensiones de la Sierra

<b>DIMENSIONES DE LA MÁQUINA</b>	
<b><i>Longitud de Máquina (mm)</i></b>	1800
<b><i>Anchura de Máquina (mm)</i></b>	1860
<b><i>Altura de Máquina (mm)</i></b>	1800
<b><i>Altura de extrusión (mm)</i></b>	1100+-50

**Fuente.** Tecnosa S.A.S

**Figura 53.** Vistas isométricas de la sierra



**Fuente.** Propia del autor.

### **Piezas**

A continuación se muestra de cada una de las piezas principales que están contenidas en la en la sierra:

El desplazamiento del carro de la sierra como se muestra en la Figura 54, es un movimiento lineal dado por una señal de un encoder y generado por un sistema de arrastre como se aprecia en la Figura 55, está compuesto de cadena y poleas.

**Figura 54.** Carro con Sierra



**Fuente.** Propia del autor.

**Figura 55.** Sistema de arrastre o de desplazamiento lineal

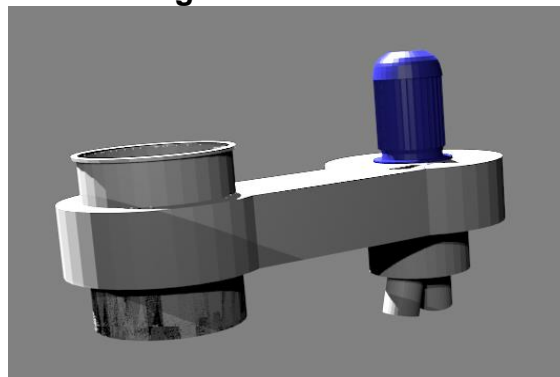


**Fuente.** Propia del autor.

El extractor como se ve en la Figura 56, extrae la viruta de la zona de corte para evitar atascamientos en la máquina.



**Figura 56. Extractor**



**Fuente.** Propia del autor.

### 3.1.5 Acampanadora de tubería PVC

Esta máquina es la última parte en el proceso industrial de tubos, consiste en abocanar un extremo del tubo a un tamaño más amplio, esto se logra mediante unos hornos que lo calientan y luego es sujeto mediante unas mordazas, acto seguido, por medio de dos cilindros neumáticos se hace el acampanado del tubo para así finalizar el proceso. El movimiento que se usa para que los tubos pasen por el proceso es mecánico.

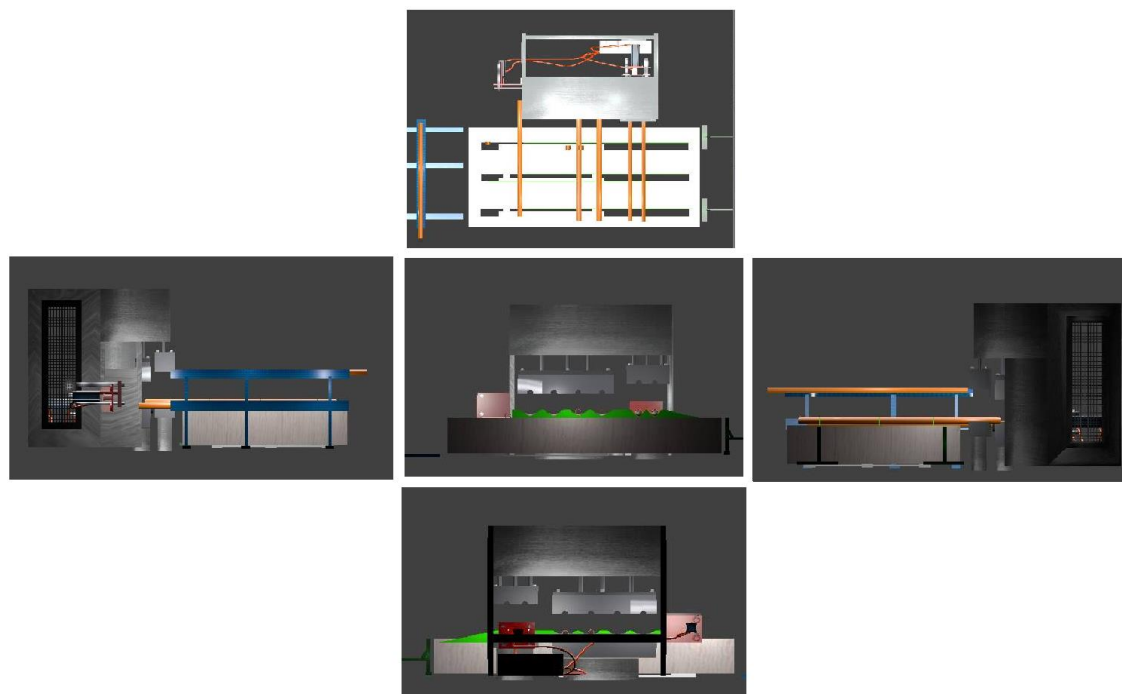
En la Tabla 8 se puede apreciar las dimensiones reales de la máquina y en la Figura 57 se observa las vistas isométricas del prototipo realizado en Blender.

**Tabla 8. Dimensiones Acampanadora**

<b>DIMENSIONES DE LA MÁQUINA</b>	
<b><i>Longitud de Máquina (mm)</i></b>	8630
<b><i>Anchura de Máquina (mm)</i></b>	1850
<b><i>Altura de Máquina (mm)</i></b>	1670
<b><i>Altura de extrusión (mm)</i></b>	1100+-50

**Fuente.** Tecnosa S.A.S

**Figura 57.** Vistas isométricas acampanadora



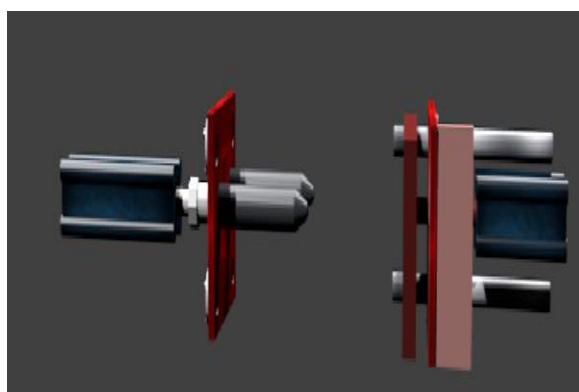
**Fuente.** Propia del autor.

### ***Piezas***

A continuación se muestra cada una de las piezas principales que están contenidas en la acampanadora:

Los cilindros neumáticos como se ve en la Figura 58, sirven para el posicionamiento de los tubos en la mesa de traslado de la acampanadora.

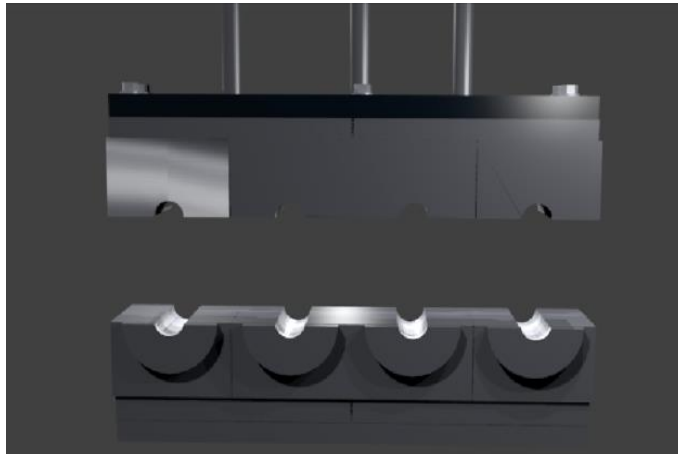
**Figura 58.** Cilindros neumáticos con acoples



**Fuente.** Propia del autor.

El movimiento de los hornos, como se aprecia en la Figura 59, se da por medio de cilindros neumáticos y su función es calentar el tubo en la punta a una longitud de 5 a 7 centímetros, para el posterior acampanado.

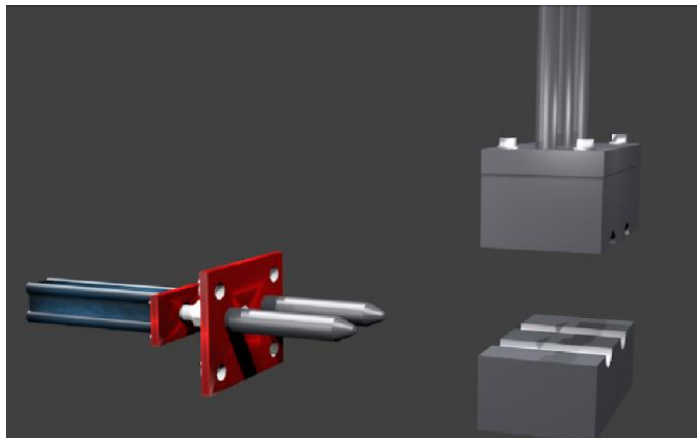
**Figura 59.** Hornos por calentamiento infrarrojo



**Fuente.** Propia del autor.

La mordaza es presentada en la Figura 60, como un modelo que está basado en una pieza real.

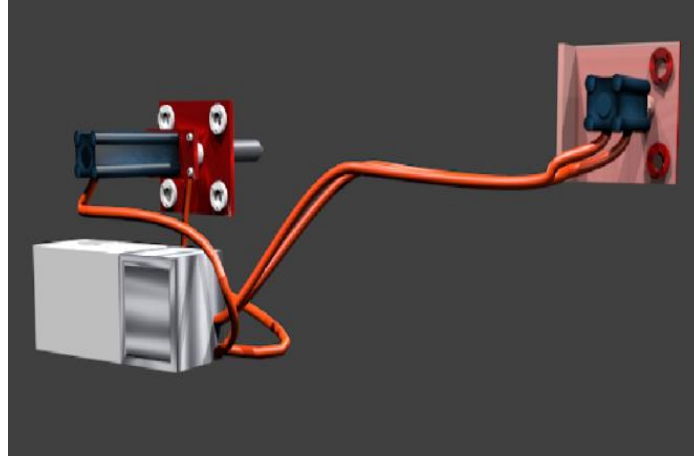
**Figura 60.** Mordaza para acampanado de tubo



**Fuente.** Propia del autor.

El sistema neumático y su gabinete, como se muestra en la Figura 61, es el sistema de aire principal de la acampanadora que permite el desplazamiento de todos los cilindros, incluyendo el sistema de desplazamiento que está presente en la mesa.

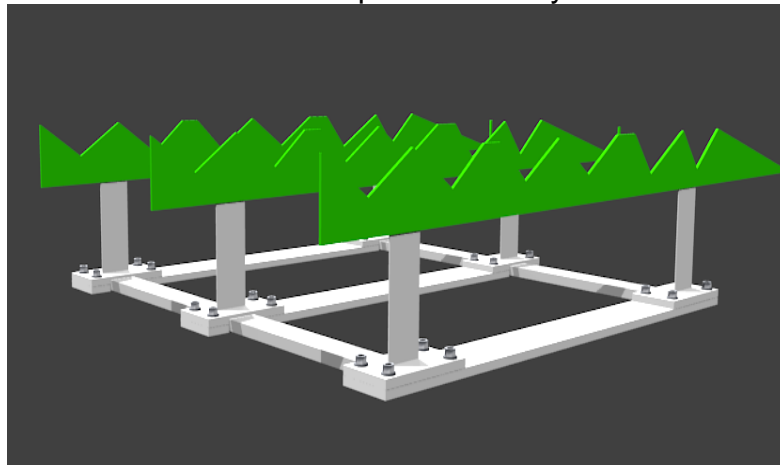
**Figura 61.** Sistema neumático y su gabinete



**Fuente.** Propia del autor.

Este sistema mecánico es presentado en la Figura 62, como un modelo que está basado en una pieza real.

**Figura 62.** Sistema mecánico para arrastre y lineamiento de tubos



**Fuente.** Propia del autor.

### 3.2 ANIMACIÓN DE LOS MODELOS EN 3D

La animación se entiende como el cambio de algún objeto sobre su aspecto en la escena. Ese cambio consiste en modificar su posición inicial, su escala o rotación.<sup>88</sup>

---

<sup>88</sup> Blender. Animación básica de objetos. [En línea]

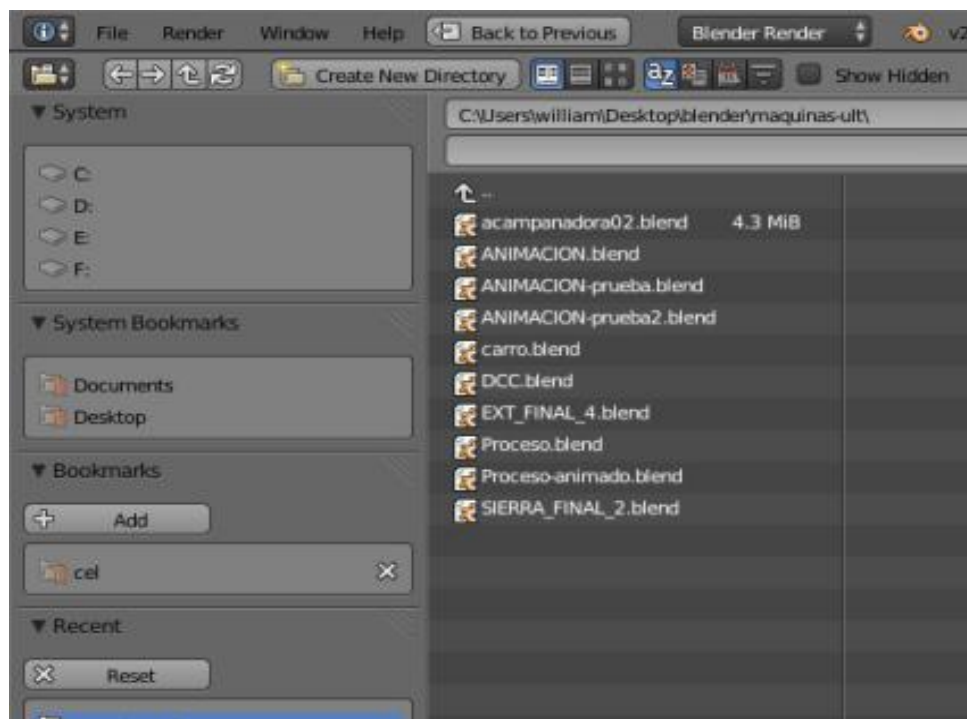
[https://wiki.Blender.org/index.PHP/Doc:ES/2.4/Books/Essential\\_Blender/03.3.Object\\_Animation\\_Basics](https://wiki.Blender.org/index.PHP/Doc:ES/2.4/Books/Essential_Blender/03.3.Object_Animation_Basics)

En este caso Blender permite realizar diferentes animaciones, las cuales se guardan en el programa como “keyframes”, lugar donde se almacena la nueva posición que adopta el objeto luego de realizar alguna modificación sobre estos.

### 3.2.1 Anexado de bibliotecas .blend en un único archivo

Antes de realizar la animación, se deben tener todos los objetos en un solo archivo, para esto los objetos se anexan con el comando `SHIF+F1`, que abrirá una pantalla que permitirá buscar el archivo de extensión .blend que se desea agregar. A continuación en la Figura 63 se observa los archivos que muestra el programa, con los cuales se puede realizar toda la exportación de archivos en la hoja de trabajo<sup>89</sup>.

**Figura 63.** Anexo de bibliotecas .blend



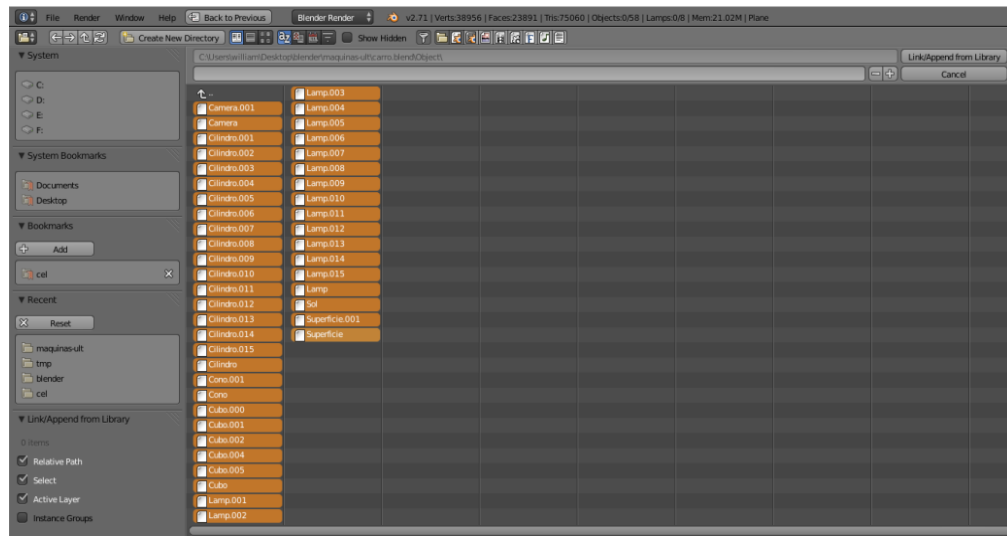
**Fuente.** Propia del autor.

---

<sup>89</sup> Cabezas, Kevin. Trucos 3D en Blender. [En línea] 2007. [En línea] <http://trucos-3D.blogspot.com.co/2007/02/aadir-de-un-archivo-blend-otro-blend.html>.

Al abrir la carpeta del archivo, se visualizan las características del objeto (texturas, objetos, material, imágenes, acciones), y se seleccionan las necesarias para su exportación. En este caso es la opción object, que contiene la geometría del modelo. Para un caso diferente se seleccionarán todos los elementos que se deseen visualizar en el nuevo archivo como animación o textura<sup>90</sup> como se muestra en la Figura 64.

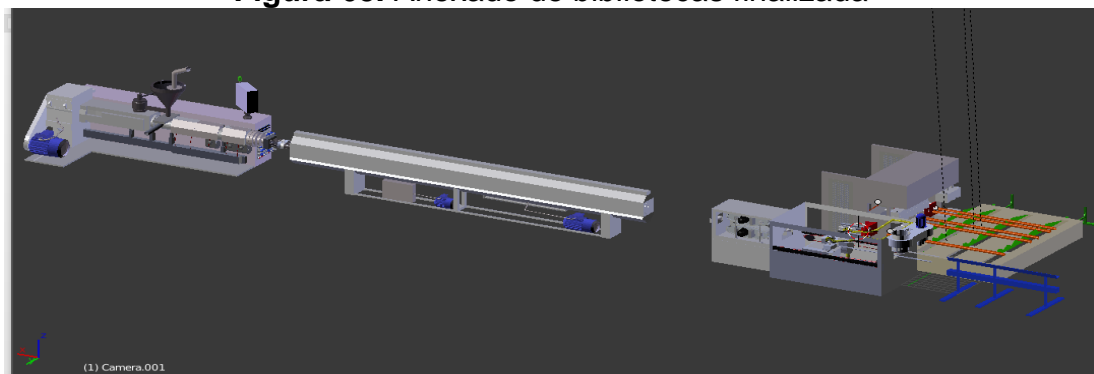
**Figura 64.** Selección de atributos de la biblioteca de extensión .blend



**Fuente.** Propia del autor.

El proceso se repite hasta tener todas las máquinas juntas en un solo archivo de trabajo como se muestra en la Figura 65 y desde ahí realizar la animación del proceso de extrusión de tubos.

**Figura 65.** Anexado de bibliotecas finalizada



**Fuente.** Propia del autor.

<sup>90</sup> Ibid.,[en línea]

Al tener todos los objetos en un mismo archivo, en este caso las máquinas, se organizan de acuerdo al proceso de producción en una línea de extrusión de PVC, igualmente se escalan los objetos en caso de ser necesario, ya que todas las máquinas conservan la posición y el tamaño del archivo de origen.

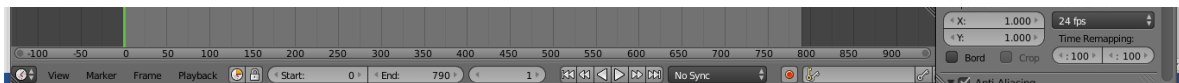
### 3.2.2 Animación

Finalmente al iniciar la construcción de la animación con Blender, se usan las herramientas de animación de *modo*: location, rotation o scaling que facilitan la ejecución de la animación haciendo combinaciones entre estas tres opciones.<sup>91</sup>

Si se quiere una animación más amplia y que tenga intervalos de tiempo duraderos, entonces se debe ajustar el fotograma de la línea del tiempo: entre mayor sea el número de fotogramas, más duradera será el tiempo en el que el programa realizará el renderizado<sup>92</sup>.

Como se puede observar en la Figura 66, hay una zona oscura y otra más clara. Esta última será el lugar donde se podrá guardar los *keyframes* y los que se encuentren fuera de la zona, no serán tomando en cuenta en la visualización.

**Figura 66.** Línea de tiempo en Blender



**Fuente.** Propia del autor.

Determinado el número total de fotogramas a utilizar y todas las animaciones listas para cada objeto, se obtiene una vista previa de la animación oprimiendo los botones ALT+A. Si un marcador en la línea de tiempo no es necesario y se desee eliminar, el comando ALT+I quitara el fotograma indeseado.

---

<sup>91</sup> Blender. Animación básica de objetos. [En línea]

URL: [https://wiki.Blender.org/index.PHP/Doc:ES/2.4/Books/Essential\\_Blender/03.3.Object\\_Animation\\_Basics](https://wiki.Blender.org/index.PHP/Doc:ES/2.4/Books/Essential_Blender/03.3.Object_Animation_Basics)

<sup>92</sup> Ibid.,[en línea]

### 3.2.3 Formato de visualización de reproductor

Para tener la animación en un formato de visualización de reproductor, Blender dispone de un botón de render, que posee opciones para modificar la calidad del video. El programa necesita renderizarse para que se detallen las texturas, sombras e iluminaciones del modelo; el programa tiene la opción de moverse por la línea del tiempo (Figura 66) tan rápido como se quiera, tanto así que puede pasar de moverse fotograma por fotograma (1, 2, 3,4...) o modificarse para moverse de a 10 fotogramas (10, 20,30,40...).

Existen dos formas de hacer el video, la primera es realizar el renderizado y modificando el tiempo en el que el programa se mueva por la línea del tiempo, el sistema comienza a tomar una foto por cada fotograma predeterminado anteriormente.

La ventaja de usar esta técnica es que si el programa llega a tener algún problema y el proceso se haya quedado en el fotograma 50, no es necesario volver a empezar, solo hace falta modificar el momento en el que el programa saco la última foto y retomar el proceso.

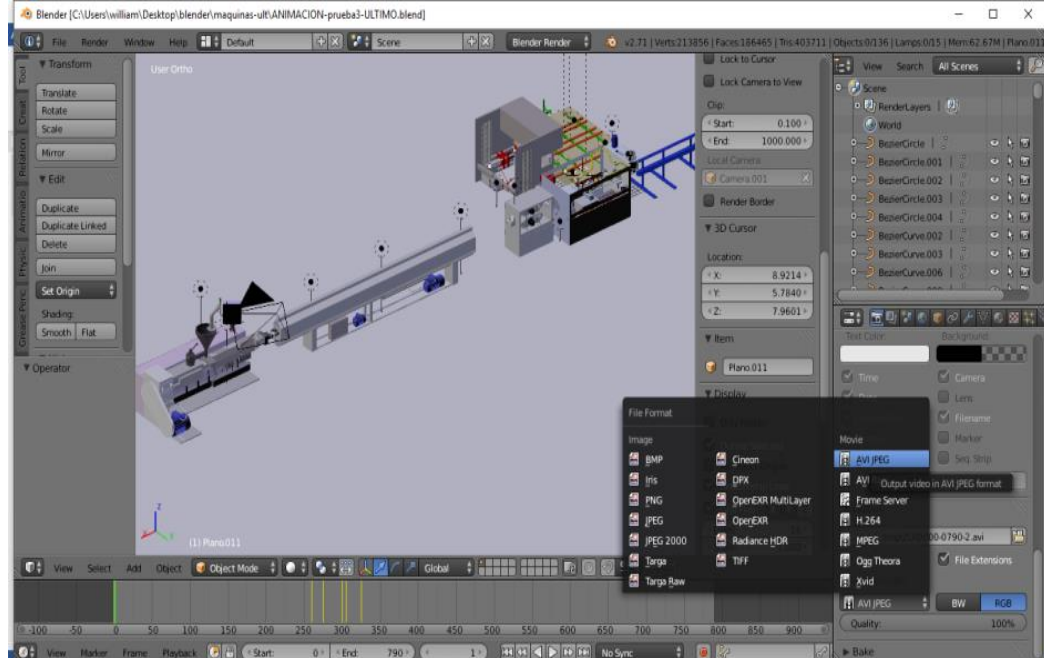
La segunda técnica consiste en realizar directamente el video desde el programa, la desventaja del proceso es que si el programa falla, este tendría que volver a empezar la capturar el video, además que el proceso puede durar demasiado. Por lo cual, no es recomendable para un proyecto el cual está sujeto a modificaciones.

Por tanto, se usó el primer método por las ventajas que este presentaba, además tiene un tiempo más corto a comparación del anterior proceso.

En la Figura 67 se muestra el formato de imagen o video en el cual se guardará la animación, el cual varía según las necesidades del proyecto:



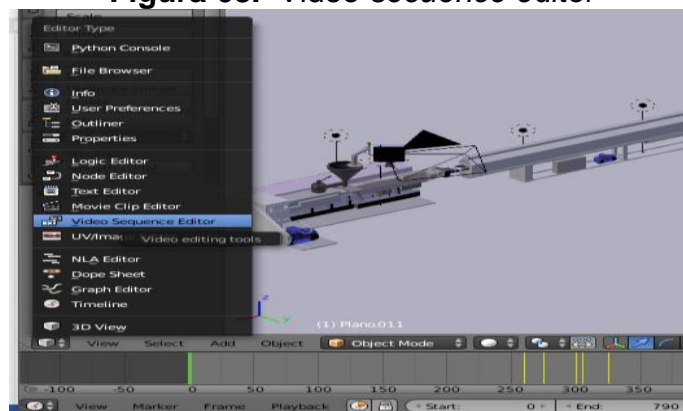
**Figura 67.** Formato de imagen o video a guardar



**Fuente.** Propia del autor.

Las fotos se guardan de acuerdo a la carpeta de origen que se haya seleccionado con formato JPEG; en la esquina inferior de la interfaz de trabajo se encuentra el botón “video sequence editor” como se ve en la Figura 68, que sirve para ingresar todas las imágenes para luego convertirlo en video.<sup>93</sup>

**Figura 68.** Video sequence editor



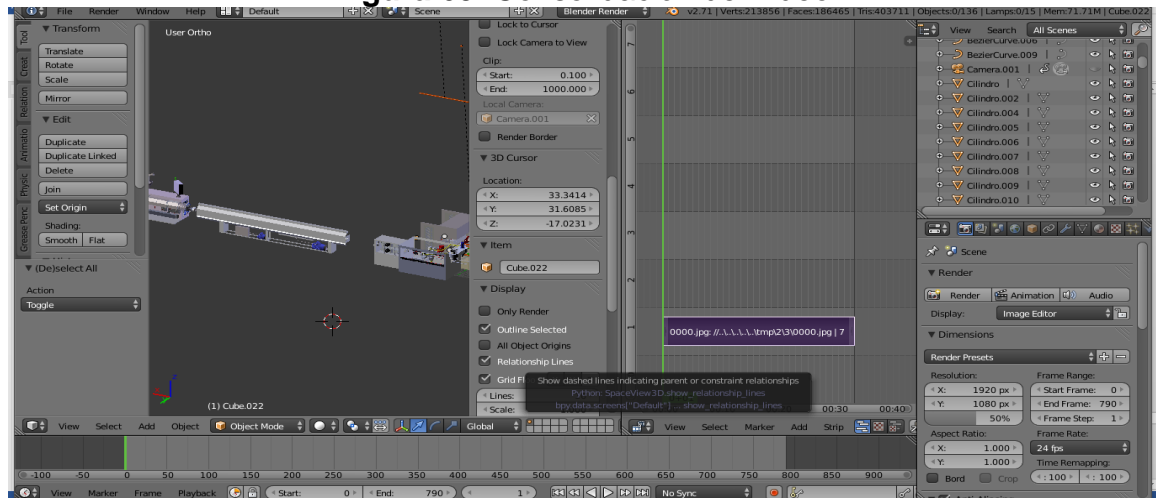
**Fuente.** Propia del autor.

<sup>93</sup> Blender. Overview of the Video Sequence Editor Window. [En línea]  
URL:<https://wiki.Blender.org/index.PHP/Doc:2.4/Manual/Sequencer/Usage>.

El tiempo que demore el renderizado será la cantidad de fotos que haya sacado anteriormente, si se usó un fotograma de 100 sacará 100 fotos, en el presente proyecto fue un total de 780 fotogramas.

A continuación, se muestra en la Figura 69 el lugar donde se agregan todas las imágenes capturadas por el programa; posteriormente toca volver a renderizar el programa, sin embargo debido a que es por este método, Blender lo único que hace es coger todas las fotos y consolidarlas en un solo video.

**Figura 69. Consolidación del video**



**Fuente.** Propia del autor.

### 3.3 TEXTURIZADO DEL OBJETO POR MEDIO DEL MAPEADO UV

En Blender existen varias formas de crear texturas a los objetos para hacerlos más realistas, en este caso se ha optado por el texturizado por medio del mapeado UV, el cual establece la posición de la textura sobre objeto en el momento de su proyección.<sup>94</sup>

El mapeado UV es un método usado para generar nuevas imágenes y así definir la textura que usará el objeto. Esta le asigna coordenadas a cada vértice, con eso el programa determina cómo se sobrepondrá la textura sobre el modelo<sup>95</sup>. Para lograr ello se usa una opción en Blender llamada *UV editing*, que

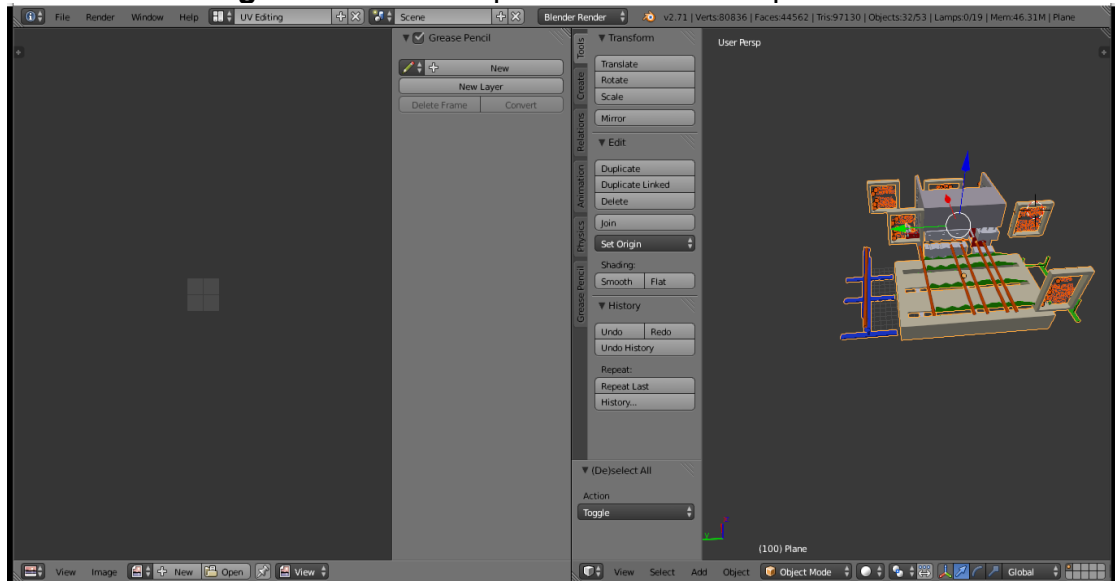
<sup>94</sup> Mapeado UV. [En línea] [https://wiki.Blender.org/index.PHP/Doc:ES/2.4/Manual/Textures/UV/Unwrapping\\_a\\_Mesh](https://wiki.Blender.org/index.PHP/Doc:ES/2.4/Manual/Textures/UV/Unwrapping_a_Mesh).

<sup>95</sup> Gameartist. Fundamentos del mapeado UV. [En línea] diciembre de 2014. [En línea] <http://www.gameartist.cl/cursos-game-art/fundamentos-del-mapeado-uv/>.

se usa para “mapear texturas de tipo imagen sobre modelos tridimensionales”. Para generar la imagen deseada de la textura lo primero que se realiza es definir la geometría relacionada con el objeto que se quiere texturizar para luego así unir las piezas.

Luego de tener todas las piezas unidas, se usa la opción UV editing para generar dos pantallas de visualización para hacer el mapeo de la figura en 3D como se observa en la Figura 70.

**Figura 70.** Pantalla para edición del mapeado UV



**Fuente.** Propia del autor.

Así se ve la pantalla dividida para hacer el mapeo respectivo: en el lado derecho de la imagen se puede ver la máquina en 3D y al lado izquierdo la visualización de la máquina en un plano. Es necesario tener desfragmentada la máquina al momento de seleccionar la opción “Smart UV project”, la cual proyecta las caras seleccionadas de una malla.

Tal como se ve en la Figura 71, se muestra en la parte izquierda de la ilustración la máquina totalmente “abierta”, y es necesario que sea con caras triangulares ya que el formato OREJ trabaja con caras triangulares.

**Fuente.** Propia del autor.

Por último, solo hace falta pintar la máquina y generar la imagen de la textura, como se ve en la Figura 72. Para ello se coloca la vista en Blender en “texture” para que proyecte sobre el plano la textura que posee el objeto y se llenen los espacios en negro el color de cada parte de la máquina. Existe la posibilidad de cargar una imagen con una textura en específico como una de metal, y así pintarla de acuerdo a esa forma<sup>96</sup>.

La imagen obtenida durante el mapeado, será posteriormente convertida a otro formato de imagen que pueda leerse dentro del algoritmo de programación. (Véase capítulo 5).

**Fuente.** Propia del autor.

96 Mapeado UV. [En línea]

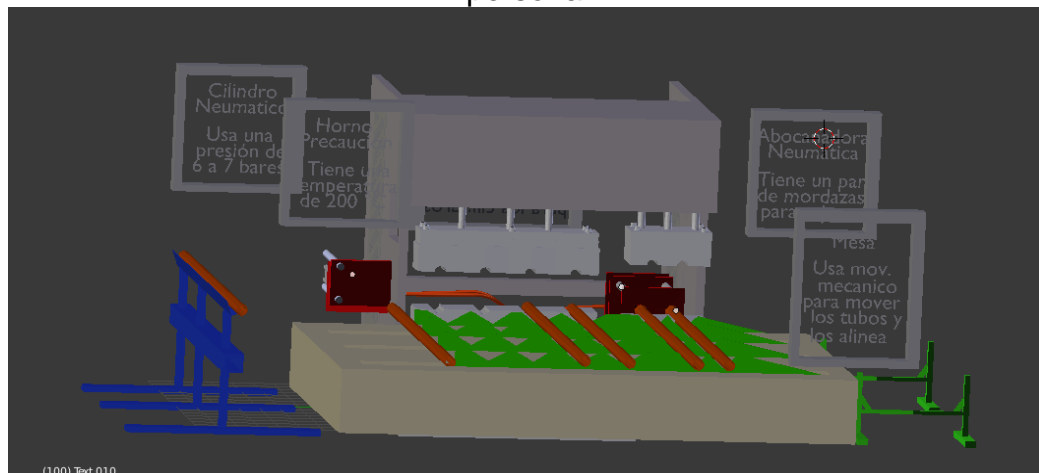
URL:[https://wiki.Blender.org/index.PHP/Doc/ES/2.4/Manual/Textures/UV/Unwrapping\\_a\\_Mesh](https://wiki.Blender.org/index.PHP/Doc/ES/2.4/Manual/Textures/UV/Unwrapping_a_Mesh).

### 3.4 CREACIÓN DE PANTALLAS DE AYUDA PARA LOS OPERARIOS

Dada la importancia que tiene el conocimiento sobre el funcionamiento de la maquinaria por parte de los operarios para realizar el proceso productivo, se hace necesario realizar una guía de instrucciones donde se muestre de forma sencilla, clara y precisa información sobre: funciones de la máquina, comportamiento interno, indicadores, índices, entre otros aspectos, que permitan capacitar al personal.

Por tal motivo, en este proyecto se integran cuadros de ayuda e información a través del programa BLENDER el cual permite una visualización junto con la máquina, haciendo más fácil el acceso a las visualizaciones pertinentes, logrando que el operario tenga todas las bases teóricas del funcionamiento, en el momento que lo necesita. Se desarrolla de la siguiente manera como se ve en la Figura 73.

**Figura 73.** Acampanadora con información relevante para capacitación de personal



**Fuente.** Propia del autor.

Para las pantallas, se utilizó la opción de agregar texto y luego se introdujo la información pertinente de cada máquina para desarrollar lo anteriormente dicho.

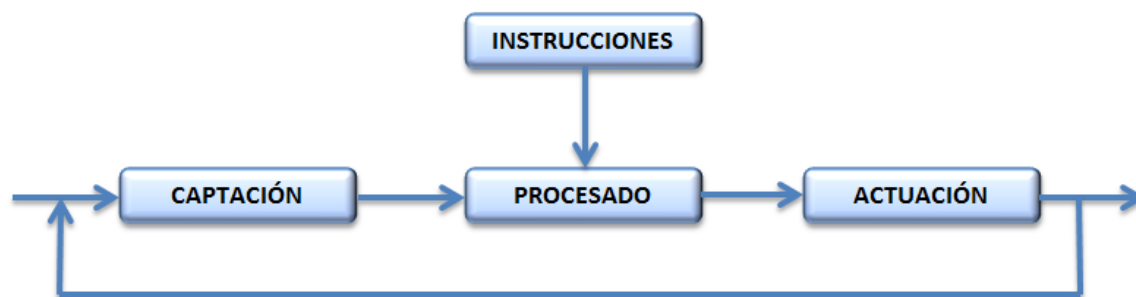
Se edita la forma de la letra y por presentación se introducen dentro de un marco básico lo que hace con mejor forma la de ver las pantallas de ayuda para el operario y sepa exactamente a cual le pertenece cada información.



## 4 VISIÓN ARTIFICIAL

La visión artificial es uno de los subgrupos que se encuentran dentro de la inteligencia artificial. Se basa en técnicas de adquisición de imágenes, procesamiento e interpretación de resultados con el fin de asemejar la visión humana. En este tipo de tecnología, es necesario utilizar una cámara de video para la captura de imágenes y un ordenador que interpretará los datos obtenidos como: color, textura, ubicación, tamaño, forma e iluminación, para que finalmente pueda tomar una decisión final<sup>97</sup>. En la Figura 74 se muestra con más claridad un esquema sobre el proceso que se da en la visión artificial.

**Figura 74.** Diagrama proceso operativo



**Fuente.** La visión artificial y su influencia en España. URL.  
<http://www.visiononline.es/es/actualidad-en-vision-artificial/la-vision-artificial-y-su-influencia-en-espana>

La visión artificial es ideal en procesos de reconocimiento de objetos, y por tanto es de utilidad en este trabajo para la identificación de los marcadores usados, junto con su posición y distancia; valores útiles para ejecutar las funciones que dan paso realidad aumentada.<sup>98</sup>

<sup>97</sup> online, Visión. La visión artificial y su influencia en España . [En línea] <http://www.visiononline.es/es/actualidad-en-vision-artificial/la-vision-artificial-y-su-influencia-en-espana>.

<sup>98</sup> Ibid.,[en línea]

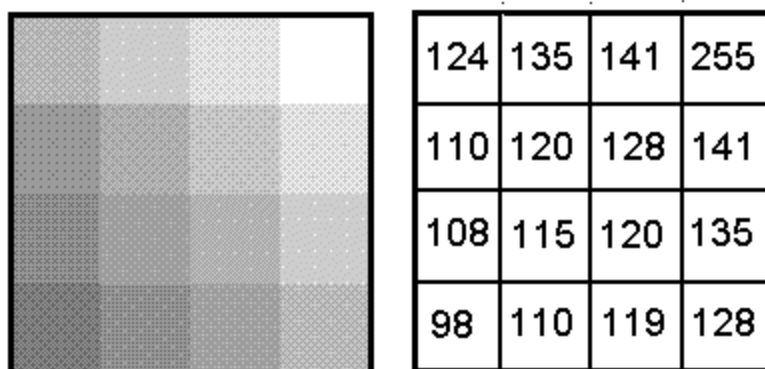
## 4.1 CONCEPTOS TEÓRICOS GENERALES

A continuación se definen conceptos y características de la visión artificial, necesarias para entender el procesamiento de imágenes llevado a cabo en el reconocimiento de marcadores de este trabajo.

### 4.1.1 Imagen digital

Es una representación creada por un ordenador tras el reconocimiento de píxeles que conforman una imagen bidimensional y que pueden obtenerse por diferentes medios electrónicos, según el tipo de conversión que se realice (análoga / digital); lo que se traduce en una conversión de una imagen tridimensional a una bidimensional que almacena características como colores, texturas, líneas y contornos, que se plasman de forma gráfica y se representan de forma matricial, guardando en cada espacio el número del píxel correspondiente al espacio de la figura<sup>99</sup> como se muestra en la Figura 75.

**Figura 75.** Muestra de una imagen con su respectiva matriz de píxeles



**Fuente.** Usando o Computador para Processamento de Imagens Médicas. URL. <http://www.informaticamedica.org.br/informaticamedica/n0106/imagens.htm>

<sup>99</sup> Platero, Carlos. Introducción a la visión artificial. [En línea] 2009. [En línea]

URL: [http://www.elai.upm.es/webantigua/spain/Asignaturas/MIP\\_VisionArtificial/ApuntesVA/cap1IntroVA.pdf](http://www.elai.upm.es/webantigua/spain/Asignaturas/MIP_VisionArtificial/ApuntesVA/cap1IntroVA.pdf).



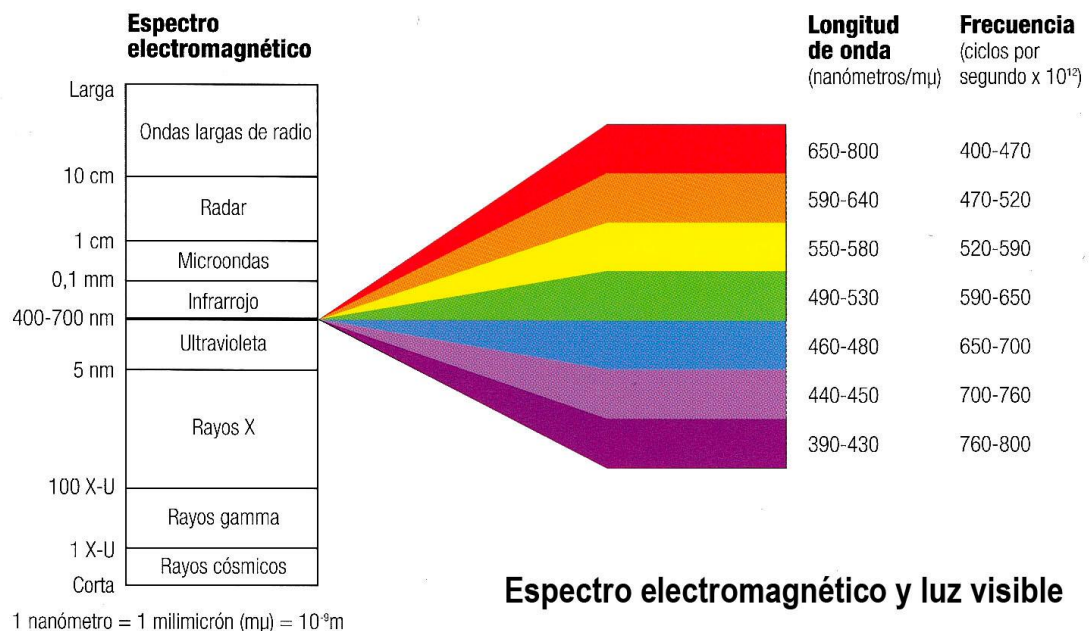
En la formación de las imágenes digitales se debe tener en cuenta 3 puntos o conceptos básicos:

1. El espectro visible
2. El ojo humano
3. La cámara

#### 4.1.2 Espectro visible

Son ondas electromagnéticas que son percibidas por el ojo humano y que corresponden a radiaciones de longitudes de onda entre los 380 nanómetros hasta los 780 nanómetros y que son traducidas por el ojo en términos de color y brillo.<sup>100</sup> Este espectro se puede visualizar con detalle en la Figura 76.

**Figura 76.** Espectro electromagnético y luz visible



**Fuente.** Física cuántica. URL. <https://edbar01.wordpress.com/segundo-corte/espectro-electromagnetico/>

<sup>100</sup> Zemansky, Sears. *Física universitaria*.

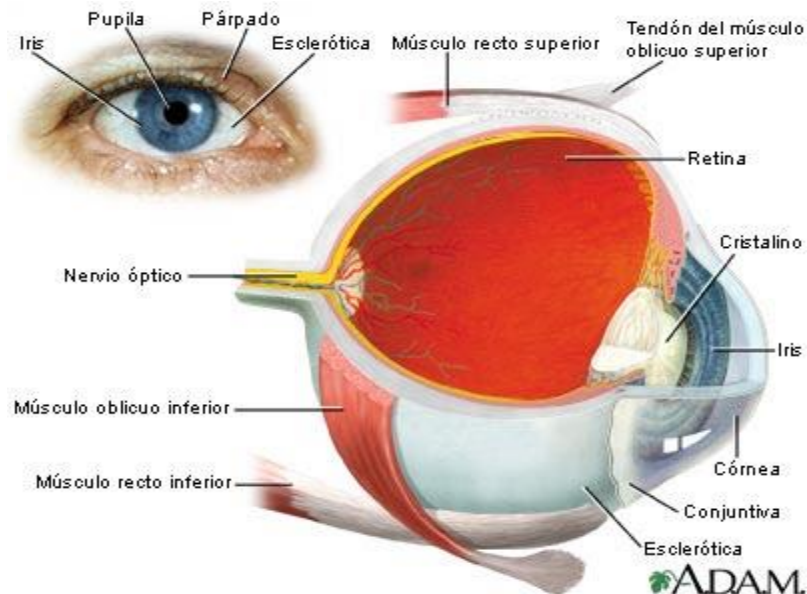
## 4.2 OJO HUMANO

El globo ocular es una estructura esférica de aproximadamente 2,5 cm de diámetro con un marcado abombamiento sobre su superficie anterior, que se encarga de recibir y traducir la luz visible, transformándola en impulsos y señales para ser procesadas posteriormente por la corteza cerebral<sup>101</sup>.

El ojo está construido para cumplir con funciones ópticas y funciones receptoras. La función óptica está destinada a producir imágenes en foco en la retina y la función receptiva a procesar estímulos luminosos ambientales y transmitirlos al cerebro en forma codificada.

En la Figura 77 se puede observar las diferentes estructuras con su respectiva localización dentro del globo ocular; más adelante se menciona la función específica de cada una de éstas en el proceso de formación de imágenes.

**Figura 77.** Anatomía del ojo humano



**Fuente.** Anatomía del ojo humano. URL

<http://rominambuludi.blogspot.com.co/2012/11/anatomia-del-ojo-humano.html>

<sup>101</sup> ADAMS, Annette. BALDSZHUN, Annette. HOHIFELD Frank. *El asombroso cuerpo humano*. . s.l. : Readers Digest, 1998.

- **La córnea:** Corresponde al polo anterior del ojo en contacto con el medio ambiente y representa el medio refractivo más potente del ojo<sup>102</sup>
- **La esclera:** Es la capa externa fibrosa y de color blanco que recubre al globo ocular. Junto con la córnea cumplen la función de contener y proteger los delicados tejidos intraoculares que participan en el proceso de la recepción visual. Sirve además como punto de inserción a los músculos extra oculares que producen los movimientos oculares.
- **Iris y pupila:** Funciona como un diafragma cuyo orificio central, la pupila, aumenta o reduce su tamaño en respuesta a la intensidad de la luz ambiental.
- **Conjuntiva:** Se encarga de la secreción basal de lágrimas para mantener la superficie ocular lubricada de manera permanente.
- **Cristalino:** Se encarga de la función de enfoque del ojo mediante del cambio de su forma por parte del cuerpo ciliar; ésta forma (aplanada o abombada) dependerá de la distancia a la que se encuentre el objeto de enfoque.
- **Cuerpo ciliar:** Su función es regular el proceso de acomodación del cristalino.
- **Mácula:** Corresponde a la parte central de la retina, en donde se localizan los foto receptores y donde nace el nervio óptico. Distingue el detalle en el centro del campo visual.
- **Retina:** Es la capa de tejido sensible a la luz que se encuentra en la parte posterior globo ocular. Es una prolongación del sistema nervioso central.
- **Nervio Óptico:** Se encarga de transmitir la información generada por los diferentes estímulos hasta la corteza cerebral a nivel del lóbulo occipital<sup>103</sup>.

En la Figura 78 se puede ver con más detalle la estructura del ojo y su funcionamiento con algunas de las partes más importantes.

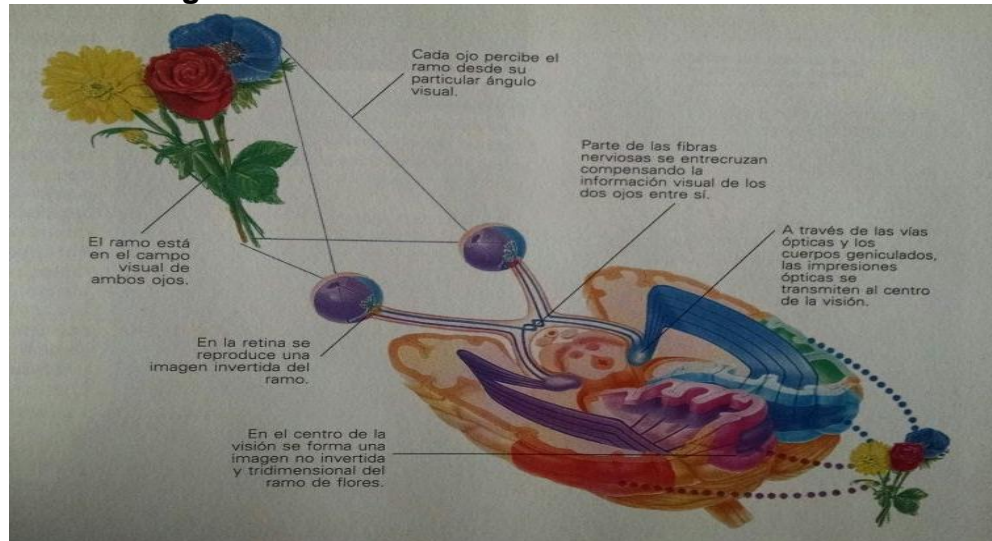
---

102 Ambuldi, Romina. Anatomía del ojo humano. [En línea] 2012. [En línea]

URL:<http://rominambuludi.blogspot.com.co/2012/11/anatomia-del-ojo-humano.html>.

103 Ibid.,[en línea]

**Figura 78.** Funcionamiento del sentido de la vista



**Fuente.** ADAMS, Annette. BALDSZHUN, Annette. HOHIFELD Frank. El asombroso cuerpo humano.

### 4.3 CÁMARA

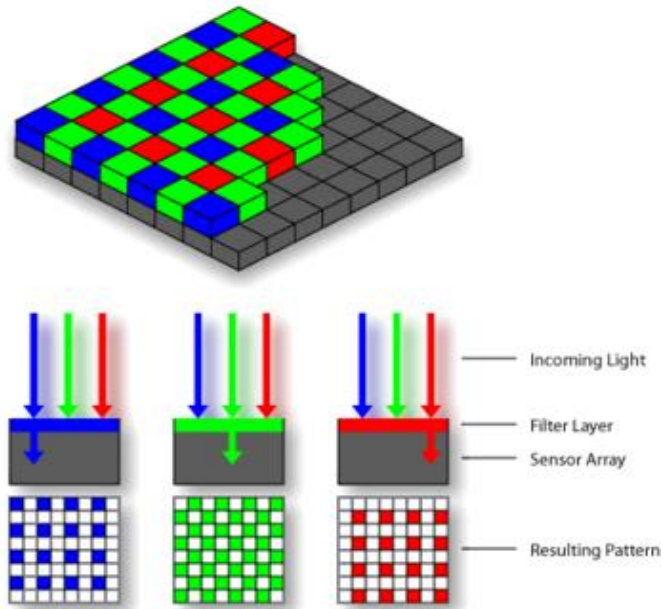
Las cámaras son fundamentales a la hora de hacer visión artificial, ya que son el primer paso para que se pueda realizar el procesamiento de imágenes. El funcionamiento se basa en tener un lente, que captura la luz desde el punto de enfoque y la direcciona hacia el interior de la cámara, donde se encuentra con un sensor fotosensible, el cual ésta está formado por millones de celdas que son imperceptibles al ojo; cuando la luz llega, el sensor es capaz de convertir esta señal en una carga eléctrica<sup>104</sup>.

Las cámaras internamente tienen unos filtros o también llamados *mosaico de Bayer*, como se ve en la Figura 79, los cuales permiten el paso de luz de acuerdo a los tres componentes que se conocen como RGB (red, Green, blue)<sup>105</sup>.

<sup>104</sup> flex, Que camara. Como funciona el sensor de una camara digital. [En línea] 2015. [En línea] <<http://quecamarareflex.com/como-funciona-el-sensor-de-una-camara-digital/>>

<sup>105</sup> Tecnoetail. Camaras digitales . [En línea] 2011. [En línea] <<http://tecnoetail.blogspot.com.co/2011/05/camaras-digital.html>>

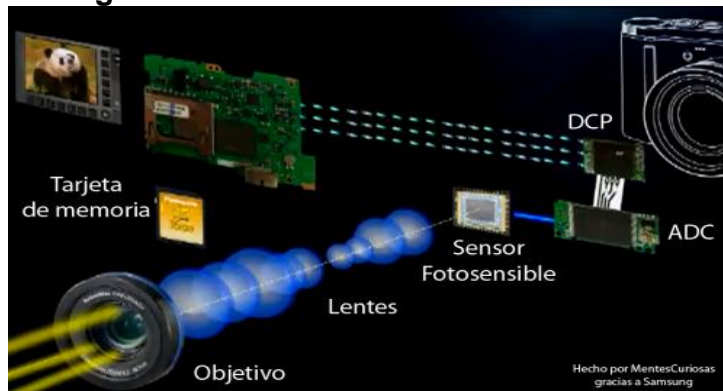
**Figura 79.** Mosaico de Bayer



**Fuente.** Novedades Leica: M monochrome. URL.  
<http://www.caborian.com/novedades-leica-m-monochrome/>

Luego del filtro, pasa por un convertidor análogo/digital, que como su nombre lo indica, se encarga de tomar la señal análoga que llega para interpretarla a una señal digital para que finalmente se pueda visualizar la imagen. El funcionamiento de la cámara se puede apreciar en forma más clara en la Figura 80.

**Figura 80.** Funcionamiento de una cámara



**Fuente.** ¿Cómo funciona una cámara de fotos? URL.  
<http://mentescuriosas.tumblr.com/post/17847454462/c%C3%B3mo-funciona-una-c%C3%A1mara-de-fotos>

## 4.4 IMÁGENES PROCESADAS POR UN ORDENADOR

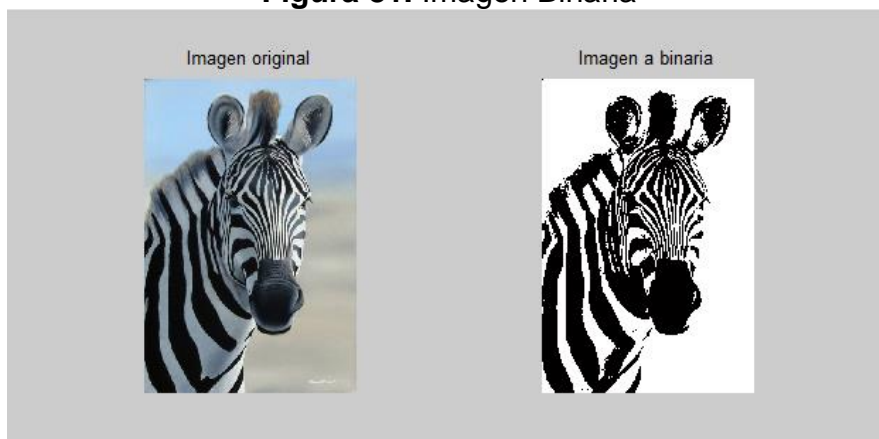
Los retratos que captura una cámara, para visión artificial, son procesados mediante un ordenador, el cual permite ejecutar acciones de acuerdo a las condiciones programables establecidas. Las imágenes capturadas se pueden clasificar de acuerdo a características distinguidas que contenga cada imagen.

### 4.4.1 Imágenes binarias

En este tipo de imágenes los píxeles adquieren un valor discreto, es decir, solo utilizan dos niveles de grises (0 y 1), donde 0 se representa por el color negro y el 1 por el color blanco (ver figura).

Hoy en día para obtener este tipo de imágenes, el ordenador debe a priori transformar la imagen a una escala de grises para luego realizar su binarización<sup>106</sup> tal cual como se ve en la Figura 81.

**Figura 81.** Imagen Binaria



**Fuente.** Propia del autor

Trabajar con imágenes binarias es muy útil para un ordenador, ya que la imagen al reducirse al número de datos necesarios, permite a la máquina el conocimiento de objetos.

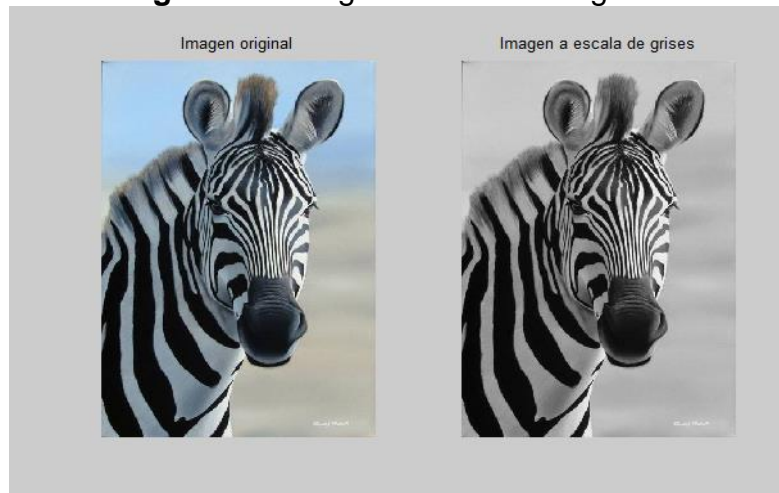
---

<sup>106</sup> Flores, Dra Leticia. Tipos de imágenes digitales . [En línea] 2011. [En línea] [https://aicitel.files.wordpress.com/2011/08/clase3\\_pdi.pdf](https://aicitel.files.wordpress.com/2011/08/clase3_pdi.pdf) .

#### 4.4.2 Escala de grises

En la Figura 82, se observa que cada una tiene una tonalidad diferente de gris, y donde cada pixel que las compone está representado por 8 bits, lo que quiere decir que el rango de la escala de grises que puede adquirir cada píxel varía entre 0 hasta 255 valores, siendo 0 la tonalidad más oscura y 255 la tonalidad más clara<sup>107</sup>.

**Figura 82.** Imagen en escala de grises



**Fuente.** Propia del autor

#### 4.4.3 Imágenes indexadas

En este tipo de imágenes se observa en la Figura 83 que los píxeles no representan directamente la intensidad, sino que por medio de índices sacados de una tabla o mapa de colores, se encuentra el color que lo identifica. De tal modo se ve que los valores de los píxeles deben ser enteros positivos y estos tendrán un máximo de 256 tonos<sup>108</sup>.

---

107 Ibid.,[en línea]

108 Ibid., [en línea]



**Figura 83.** Imagen indexada



**Fuente.** Tipos de imágenes digitales URL.

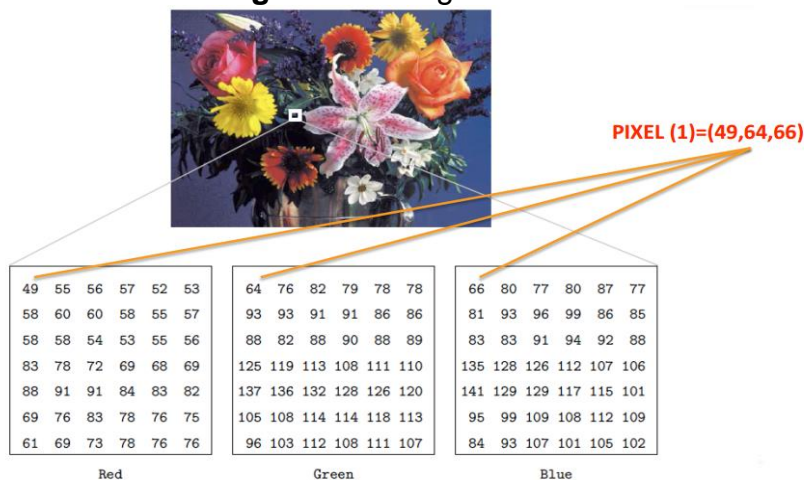
[https://aicitel.files.wordpress.com/2011/08/clase3\\_pdi.pdf](https://aicitel.files.wordpress.com/2011/08/clase3_pdi.pdf)

#### 4.4.4 Imágenes RGB (red, green, blue)

También conocidas como imágenes de color, y como su nombre lo indica, valga la redundancia, son representaciones a color, en el cual los píxeles están formados por tres valores de intensidad de rojo, verde y azul.

Estas imágenes usan tres canales para visualizar los colores en pantalla y cada canal puede tomar un valor entre 0 a 255, lo que quiere decir que se pueden formar hasta 16.7 millones de colores para un solo píxel<sup>109</sup>. En la Figura 84 se explica este tipo de imagen.

**Figura 84.** Imagen RGB



**Fuente.** Tipos de imágenes digitales. URL.

[https://aicitel.files.wordpress.com/2011/08/clase3\\_pdi.pdf](https://aicitel.files.wordpress.com/2011/08/clase3_pdi.pdf)

<sup>109</sup> Ibid., [en línea]



## 4.5 FILTRADO DE IMÁGENES DIGITALES

El filtro en las imágenes digitales se usa para detallar características propias de la imagen. Esto se realiza por medio de la convolución de una imagen y una función filtro.

### 4.5.1 Procesos de filtrado

Son técnicas que se utilizan para suprimir o resaltar información de una imagen, es decir, obtener ciertas características, las cuales permiten distinguir ciertos atributos que pueda contener una imagen. Al usar filtros en una imagen se busca obtener otra imagen suavizada, eliminar ruido, realce, detección de bordes, entre otros<sup>110</sup>.

Dependiendo de la imagen resultante que se quiera visualizar, se usan diferentes tipos de filtros. Existen los que se pueden trabajar en el dominio de la frecuencia y otro en el dominio del espacio.

### 4.5.2 Filtrado en el dominio del espacio

Esta técnica se basa en realizar operaciones que afectan directamente a los píxeles y en donde estos adquieren un nuevo valor luego de que una matriz de filtrado de tamaño  $N \times N$ , trabaja sobre la imagen realizando operaciones de convoluciones y las reubica en una nueva imagen. Este tipo de filtro se clasifica en lineales y no lineales<sup>111</sup>.

### 4.5.3 Filtrado en el dominio de la frecuencia

Para este tipo de filtros se usan las transformaciones de fourier, luego se multiplica por la matriz del filtro para que finalmente se use la transformada inversa de fourier y así obtener una nueva imagen filtrada; esto se conoce como proceso de convolución. Como se ve en la Figura 85, las operaciones de convolución junto con el filtro, determinan el borde una figura y el resultado es muy destacable<sup>112</sup>.

---

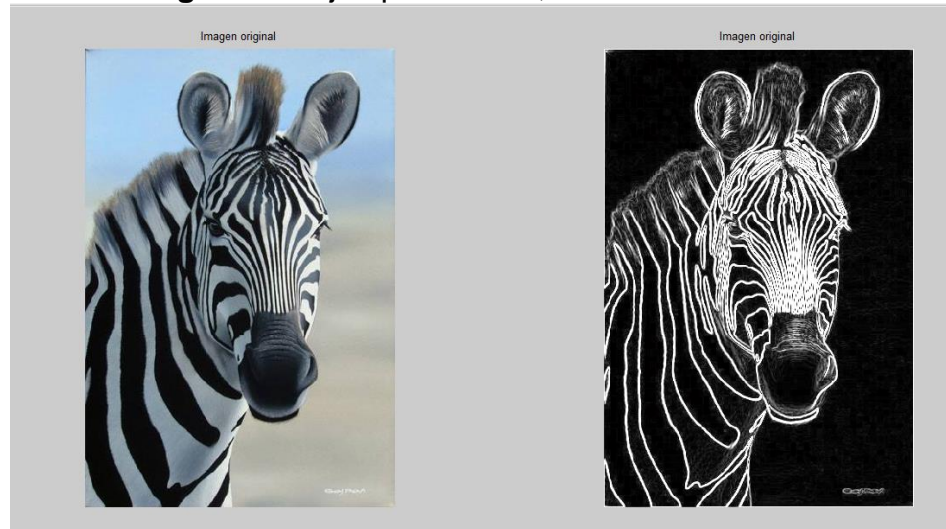
110 Pinilla, C. y A.Alcala. [http://www.aet.org.es/revistas/revista8/AET8\\_5.pdf](http://www.aet.org.es/revistas/revista8/AET8_5.pdf). [En línea] Diciembre de 1997. [En línea] URL:[http://www.aet.org.es/revistas/revista8/AET8\\_5.pdf](http://www.aet.org.es/revistas/revista8/AET8_5.pdf).

111 Ibid., [en línea]

112 Ibid., [en línea]

En la visión artificial se da una amplia gama de procesos en los cuales se puede implementar este tipo de filtros. ( Véase en 4.7 aplicaciones de la visión artificial.)

**Figura 85.** Ejemplo de filtro, bordes resaltados



**Fuente.** Propia del autor

Dentro de esta categoría se pueden encontrar filtros pasa bajos, pasa altos y paso banda. El primero filtra entre las frecuencias altas y bajas dejando las bajas sin variaciones; el segundo filtra entre las frecuencias altas y bajas dejando las altas sin cambio alguno y la tercera filtra las frecuencias altas y bajas dejando así solo las frecuencias medianas.

#### **4.6 CONFIGURACIÓN DE UN SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL**

Un sistema de visión artificial se compone de dos partes principales: el sistema de formación de imágenes y el sistema de procesamiento; cuyo objetivo es modelar una imagen bidimensional para que pueda ser procesada por el computador para una tarea determinada. En dicho proceso intervienen una serie de subsistemas que inciden en el resultado final del procesamiento, entre los cuales se tiene en cuenta la iluminación generada por pantallas, lámparas, luz natural o cualquier otro medio que produzca radiación electromagnética que incida sobre el objeto a visualizar. El otro subsistema es el de captación (hecho por las cámaras), en el cual los transductores convierten la radiación luminosa en señales eléctricas; finalmente el sistema de adquisición forma la señal del video con la señal eléctrica generada en la captura y con la tarjeta de adquisición del ordenador forman el conjunto de imágenes, conocidos también

como fotogramas<sup>113</sup>. En la Figura 86 se muestra los componentes que se requiere para tener adquisición de imágenes.



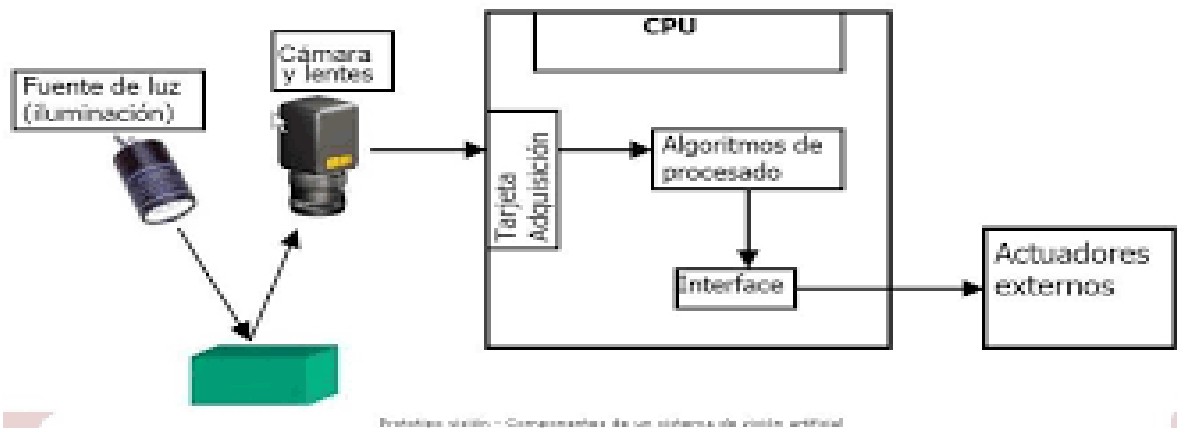
**Fuente.** Tag Archive for: vision artificial. URL.  
<http://blog.i-mas.com/etiqueta/vision-artificial/>

Por último el sistema de procesamiento se compone por un subsistema de uno o varios ordenadores y segundo por un conjunto de periféricos; el primero como ya se dijo se compone de computadores que reciben la representación digital de la imagen y la procesa de acuerdo al algoritmo establecido. El conjunto de periféricos son aquellos elementos que reciben toda la información procesada por el ordenador. Este tipo de sistema se puede detallar mejor en la Figura 87.

---

<sup>113</sup> Fotograma. Equivale a un momento de una película o un cuadro de un film. Tomada de CristalLab [en línea]<http://www.cristallab.com/flash/fotogramas/>

**Figura 87.** Subsistemas de un equipo de visión artificial



**Fuente.** Aplicación práctica de la visión artificial en el control de procesos industriales. URL. [http://visionartificial.fpcat.cat/wp-content/uploads/UD\\_1\\_didac\\_Conceptos\\_previos.pdf](http://visionartificial.fpcat.cat/wp-content/uploads/UD_1_didac_Conceptos_previos.pdf)

#### 4.7 APLICACIONES DE LA VISIÓN ARTIFICIAL

La visión artificial ha tenido repercusiones importantes en diversos campos laborales. Alguno de ellos se referencia a continuación: <sup>114</sup>

##### ***Navegación en robótica:***

En este caso, la visión es un elemento de un sistema multisensorial. La información procedente de la visión es validada, comparada y finalmente integrada con el resto de la información proporcionada por otro tipo de sensores. El resultado es la reconstrucción de la escena 3-D, que permite la navegación autónoma del sistema (Schneider 1996, López-Orozco 1999).

***Biología:*** Consiste en identificar diversos organismos con técnicas de segmentación orientada a regiones para identificar su tamaño, textura color, entre otros. Además de contar el número total de organismos encontrados en una sola muestra.

***Medicina:*** Se encuentran diversos ejemplos, ya que gracias a esta tecnología se pueden diagnosticar enfermedades por medio de radiografías, resonancias magnéticas, tomografías, entre otros.

<sup>114</sup> Gonzales, Y. Aplicaciones de la visión artificial. [En línea]  
<[http://dmi.uib.es/~ygonzalez/VI/Material\\_del\\_Curso/Teoria/Aplicaciones\\_VC.PDF](http://dmi.uib.es/~ygonzalez/VI/Material_del_Curso/Teoria/Aplicaciones_VC.PDF)>

**Identificación de construcciones, infraestructuras y objetos en escenas en escenas de exterior:** Se toman imágenes mediante satélites para determinar regiones o edificaciones por medio de extracción de bordes o contornos.

**Reconocimiento y clasificación:** Es muy utilizado en la industria para tareas que son repetitivas. Como su nombre lo indica, clasifica objetos por su tamaño y los ordena dentro de un patrón programado.

**Inspección y control de calidad:** Se verifica que un objeto tenga las características indicadas aparte de verificar su tamaño, en otras palabras se determina que un objeto tiene determinados criterios.

**Cartografía:** Se usa técnicas de correspondencia basadas en el área, el cual determina las elevaciones de un terreno.

**Fotointerpretación:** Se emplean diversas técnicas para el análisis de imágenes, con ello se busca extraer información acerca de lugares donde es tomada la foto.



## 5 PROPUESTA DEL ALGORITMO DE REALIDAD AUMENTADA

Se ha dedicado este espacio para la descripción del proceso llevado a cabo tanto en la implementación del algoritmo de programación que permite incorporar los modelos de las máquinas explicadas en el capítulo anterior y generar un ambiente de realidad aumentada de acuerdo a las necesidades planteadas, como en el diseño de los marcadores y de la interfaz gráfica de la aplicación, con el fin de dar cumplimiento a los objetivos propuestos en este trabajo.

### 5.1 DISEÑO DEL ALGORITMO PARA LA VISUALIZACIÓN DE IMÁGENES Y ANIMACIÓN 3D

El algoritmo de programación fue desarrollado en el IDE Microsoft Visual Studio 2013 en el lenguaje de programación C++ y en base a la información presentada en el libro *“Realidad Aumentada: un enfoque práctico con ARToolKit y Blender”*<sup>115</sup>.

Para dar paso a la construcción de la aplicación de realidad aumentada, se ha utilizado un pequeño script de exportación desde la consola de Python que se encuentra en Blender, para crear ficheros en un nuevo formato conocido como OREj, que contiene las características de las máquinas modeladas en Blender. Posteriormente dicho formato junto con un archivo de Formato ppm (mapa de píxeles portátil-formato de imagen en color Netpbm<sup>116</sup>) el cual contiene las texturas, es cargado dentro de las bibliotecas implementadas en Visual Studio, cuyo objetivo es importar los modelos y reconstruirlos junto con la textura, utilizando las herramientas de las librerías de OpenGL y ARToolKit.

***Nota:*** Es necesario para el desarrollo del algoritmo de programación tener instalado con anterioridad las bibliotecas de ARToolKit y OpenGL, posteriormente enlazar las a Visual Studio 2013. (Véase Anexos. Tutorial de instalación).

---

<sup>115</sup> Gonzales Morcillo, Carlos. Vallejo Fernandez, David. Albusac Jimenez, Javier. Castro Sanchez, José. Realidad Aumentada: un enfoque práctico con ARToolKit y Blender. Bubok Publishing S.L. /2011 [En Línea] <http://www.librorealidadaugmentada.com>. ISBN: 978-84-686-1151-8. PDF.

<sup>116</sup> Formatos Netpbm. son todos los formatos de mapa de bits, es decir, que describen una imagen como una matriz de filas y columnas de píxeles. Tomado de “Netpbm” [En línea] <http://netpbm.sourceforge.net/doc/>

### 5.1.1 Formato OREJ y PPM

Ambos formatos son usados dentro la aplicación de realidad aumentada para exportar las características de las máquinas diseñadas en Blender: geometría y texturas; facilitando la lectura del número de caras con los valores de mapeado UV, coordenadas de cada vértice y textura del objeto dentro del código de exportación generado en Visual Studio.

- *Formato OREj.* Es una adaptación del formato convencional OBJ<sup>117</sup>, pero a diferencia de este último almacena modelos en forma de malla de polígonos triangulares a pesar de que fue hecho para soportar caras triangulares y cuadradas. En este caso almacena información sobre la geometría y permite el texturizado del objeto por medio del mapeado UV<sup>118</sup>. En la Figura 88 se observa el distintivo del grupo creador del formato OREj.

**Figura 88.** Formato de intercambio Blender-OpenGL



**Fuente.** Libro *Realidad Aumentada: un enfoque práctico con ARToolKit y Blender* (pág. 88)

- *Formato PPM.* Es un formato diseñado para ser comprendido con alta facilidad por humanos y computadoras (divido en dos sub-formatos: ASCII y binario) por lo que es altamente utilizado en la creación de programas. Para el caso de la aplicación de realidad aumentada será utilizado para contener las texturas de los objetos modelados en Blender.

En la Figura 89 se explica la dinamica de entre la geometria y textura del objeto dentro de la construccion del algoritmo.

---

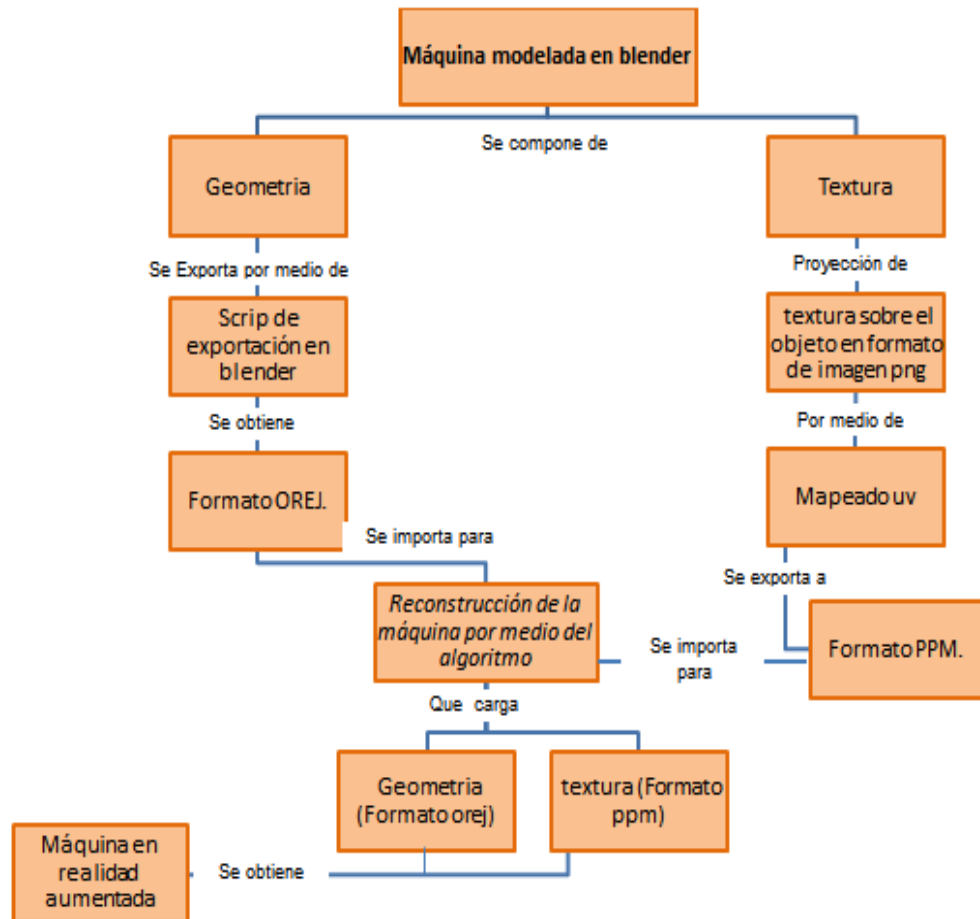
<sup>117</sup> OBJ es un archivo objeto Wavefront 3D que contiene las coordenadas en 3D, mapas de textura, y otra información de objeto. Tomado de “¿Qué es un archivo obj y cómo puedo abrir un archivo obj?”[En línea]

<http://www.openthefile.net/es/extension/obj>

<sup>118</sup> Realidad aumentada:un enfoque practico con ARToolKit y Blender. [aut. libro] David vallejo Carlos Gonzales. *OREJ*.



**Figura 89.** Dinámica del formato OREj y pmm.

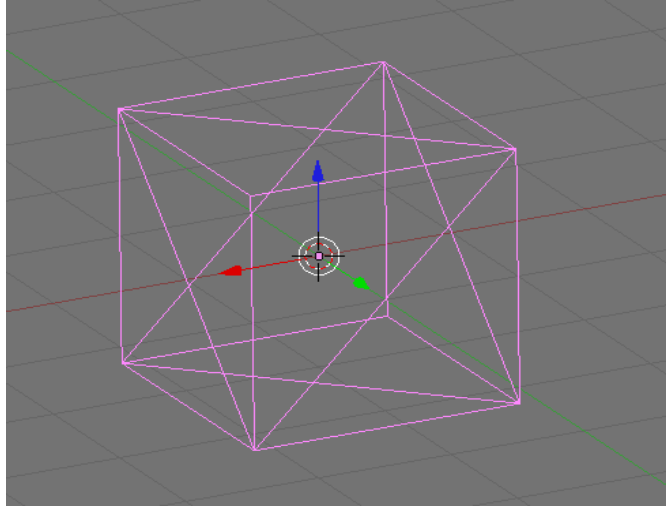


**Fuente.** Propia del autor.

### 5.1.2 Script de exportación para el formato OREJ

Para exportar la geometría de las máquinas almacenadas en un archivo de extensión blend, se usa el exportador en Python, el cual debe ser abierto desde el programa de diseño Blender (Editor de Texto/Abrir) y posteriormente debe ser ejecutado (Alt + P). Con antelación el modelo 3D debe estar en mallas triangulares como muestra en la Figura 90.

**Figura 90.** Objeto en polígonos triangulares



**Fuente.** Propia del autor

Este exportador crea un archivo con extensión OREj en la dirección asignada dentro del código. Dicho fichero contendrá las coordenadas locales (relativas al centro del objeto), las coordenadas de los vértices, el número total de caras y las coordenadas de textura UV del modelo 3D de las máquinas de extrusión animación como se muestra en la Figura 91. Adicionalmente almacena cada fotograma de animación.

**Figura 91.** Las letras v, f y t, almacenan las coordenadas de los vértices, la definición de las caras con los vértices que la conforman y la descripción de las coordenadas UV, respectivamente

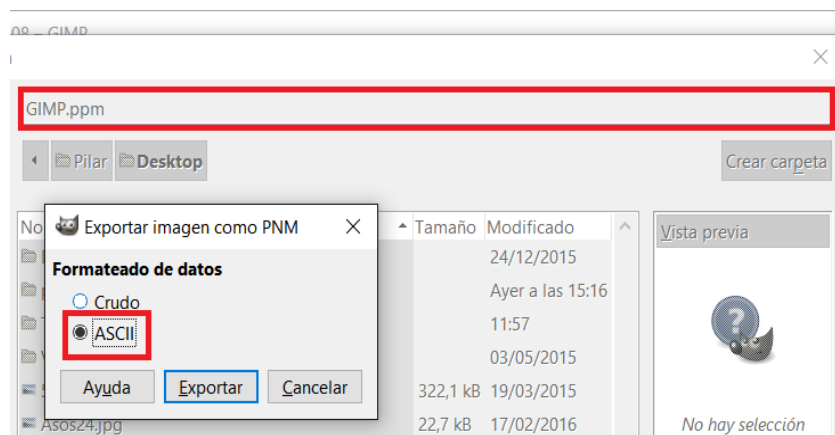
```
# Objeto OREj: cubo
# Vertices Totales: 8
# Caras Totales: 12
v 1.000000 1.000000 -1.000000
v 1.000000 -1.000000 -1.000000
v -1.000000 -1.000000 -1.000000
...
f 4 1 5
f 8 4 5
f 8 7 3
...
t 0.01171875 0.4921875 0.01171875 0.01171875 0.4921875 0.01171875
t 0.01171875 0.4921875 0.4921875 0.01171875 0.4921875 0.4921875
t 0.49609375 0.0078125 0.5 0.5 0.0078125 0.50390625
...
# FRAME 0
m 1.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 -0.000000
1.000000 0.000000 0.000000 -1.000000 -0.000000 0.000000
-0.010914 0.020751 -0.015152 1.000000
# FRAME 1
m 1.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 -0.000000
1.000000 0.000000 0.000000 -1.000000 -0.000000 0.000000
-0.010913 0.020749 -0.015155 1.000000
```

**Fuente.** Libro *Realidad Aumentada: un enfoque práctico con ARToolkit y Blender* (pág. 88).

### 5.1.3 Exportación de texturas en formato PPM

Las texturas de las máquinas deben ser guardadas en un formato de imagen (png o jpg) desde el editor UV de imágenes de Blender (véase *Capítulo 3. Texturizar modelo con mapeado UV*), para posteriormente ser abierta en el programa de retoque fotográfico y manipulación de imágenes, GIMP, y ser guardada en el formato ppm con especificación ASCII como se ve en la Figura 92, el cual es legible para computadoras y humanos.

**Figura 92.** Exportación de textura en formato png a formato ppm desde GIMP



**Fuente.** Propia del Autor.

### 5.1.4 Importando los modelos desde Visual Studio

Esta parte del algoritmo permite cargar cada máquina modelada en Blender (caras, vértices, textura y animación) en el formato OREj desde Visual Studio, por medio de las herramientas de OpenGL.

#### 5.1.4.1 Biblioteca para el objeto de formato OREj

Esta biblioteca delimita propiedades básicas del objeto importado, como el número máximo de vértices, aristas y fotogramas que acepta el programa por medio de la directiva del procesador `#define`, que asocia un valor o símbolo a un texto determinado, por lo tanto el compilador sustituirá el valor por la palabra escrita, permitiendo que sea usada con mayor agilidad en otras partes del programa.

Por otro lado en este fichero de extensión punto h, también define la estructura del objeto, como su geometría, textura y animación, encapsulando un nuevo conjunto de variables que se asocian a determinado aspecto del modelo como se muestra en la Figura 93.

**Figura 93.** Fragmento de código de la biblioteca para el objeto de formato OREj. Estructura que define las características para un objeto OREj.

```
typedef struct{ // ===== OrjObjeto =====
    // GEOMETRIA
    OrjCara    caras[MAXPUTOS];
    OrjVertice vertices[MAXPUTOS];
    int        numerocaras;
    int        numerovertices;
    int        listamallas;
    float      escala;
    // TEXTURA
    GLuint     textura;

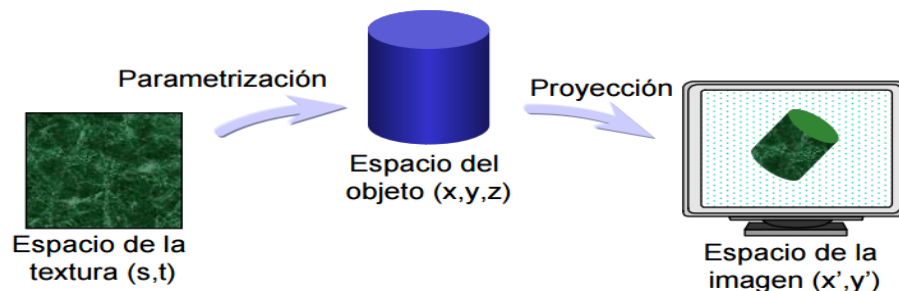
    int        anchotextura;
    int        altotextura;
    // ANIMACION Propiedades de animacion
    float      animacion[MAXFOTOGRAMAS][16];
    int        numerofotogramas;
    int        fotograma;
    int        modo;
    int        sentido;
} OrjObjeto;
```

**Fuente.** Propia del Autor.

#### 5.1.4.2 Cargador del formato OREJ.

Este fichero usa los parámetros y estructuras definidas en la *biblioteca para el objeto de formato OREj*, para la construcción del objeto por medio de funciones que puedan cargar su textura y geometría. La Figura 94 muestra la proyección de la textura sobre un objeto 3D.

**Figura 94.** Mapeado de textura



**Fuente.** Texturas. URL. <http://trevinca.ei.uvigo.es/~vluzon/Documentos/7-Texturas.pdf>

- *Aplicar textura.*

Para definir la textura de un objeto, a priori se debe cargar la textura en un formato de imagen (para este caso en formato ppm) y consecutivamente haciendo uso de las herramientas de OpenGL, se reserva, en primera instancia el número de texturas que se desean generar asociadas a una dirección o puntero donde deben ser almacenadas (*glGenTextures* (1, &(obj->textura))). A continuación se establece el modo de almacenamiento y alineamiento de los píxeles en la memoria (*glPixelStorei* (GL\_UNPACK\_ALIGNMENT, 1)), y posteriormente se relaciona la textura en uso, por medio de la función *glBindTexture* a un índice almacenado anteriormente en la función *glGenTexture*.<sup>119</sup> La Figura 95 muestra la sintaxis de las funciones explicadas anteriormente.

**Figura 95.** Fragmento de código

```
glGenTextures(1, &(obj->textura));
glPixelStorei(GL_UNPACK_ALIGNMENT, 1);
glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, obj->textura);
```

**Fuente.** Propia del autor.

Finalmente se empieza a texturizar el modelo por medio de la función *glTexParameteri*, la cual establece el texturizado en el alto y ancho del objeto en las coordenadas x,y que equivalen en coordenadas de textura a s (de 0 a 1 de izquierda a derecha) y t (de 0 a 1 del extremo inferior al superior), de modo que en el momento el que se usa la *texture wrap* con las coordenadas nombradas (s,t) se fija la textura en el objeto; si las coordenadas se encuentran fuera del rango (0-1), la textura se repite a lo largo o ancho de la superficie del objeto (*GL\_repeat*) y usando los filtros de OpenGL (*texture filter-GL\_Repeat – GL\_Nearest*), se adecua la textura que se ha salido del rango para adecuarlos al tamaño de la imagen (*GL\_TEXTURE\_MAG\_FILTER* cuando la superficie es mayor al de la imagen y *GL\_TEXTURE\_MIN\_FILTER* para una situación contraria). En la Figura 96, muestra el orden de escritura y la sintaxis de las funciones nombradas con anterioridad.<sup>120</sup>

<sup>119</sup> DOCS.GL. [En línea] URL [En línea] <http://docs.gl/es2/glGenTextures>

<sup>120</sup> Ibid., [en línea]

**Figura 96.** Fragmento de código para cargar la textura

```
glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_S, GL_REPEAT);  
glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_T, GL_REPEAT);  
glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MAG_FILTER, GL_NEAREST);  
glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MIN_FILTER, GL_NEAREST);
```

**Fuente.** Propia del autor.

En última instancia se define la textura con `glTexImage2D` que tiene nueve argumentos como se ve en la Figura 97: 1.) Define el tipo de textura; 2.) El nivel de detalle de la imagen; 3.) El número de colores dentro de cada pixel; 4.) Altura y 5.) Ancho de la imagen; 6.) Número de pixeles del borde de la textura; 7.) Tipo de colores que tendrá la textura; 8.) El tipo de datos en el que será leída la información de la textura cargada y 9.) La información en bytes de la imagen, almacenada en la variable `GLubyte Im`.<sup>121</sup>

**Figura 97.** Fragmento de código

```
glTexImage2D(GL_TEXTURE_2D, 0, GL_RGBA, w, h, 0, GL_RGB,  
             GL_UNSIGNED_BYTE, im);
```

**Fuente.** Propia del autor.

- *Reconstruir objeto.*

Inicializa las propiedades de la animación y decreta la geometría del objeto asociando vértices a coordenadas y posteriormente a caras, y ultimadamente a cada cara un segmento de textura, por medio de instrucciones que permiten extraer y posteriormente indicar el tipo de valor (*sscanf(%f-Flotante)*) en el que deseamos almacenar las caras, las coordenadas UV y la matriz de transformación (valores almacenados en `v`, `f`, `t`, `m` respectivamente en el script de exportación) para asociarlas finalmente al objeto OREj (*OREjObjeto \*ob*)j. En la Figura 98, corresponde a un fragmento de código que muestra a modo de ejemplo la indexación de los vértices a un conjunto de coordenadas en el proceso de construcción de la geometría del objeto.

---

<sup>121</sup> Mapeado de texturas. [En línea] [En línea]

URL <http://www4.tecnun.es/asignaturas/grafcomp/OpenGL/practica/capitulo10.pdf>.

**Figura 98.** Instrucción que indexa los vértices del objeto a las coordenadas x, y, z y posteriormente los asocia al objeto (OREjObjeto \*obj)

```
while (fgets(cadaux, MAXLINEA, fich) != NULL) {
    linea++;
    switch (cadaux[0]){
        case '#': break;
        case 'v': sscanf(&cadaux[2], "%f %f %f",
            &obj->vertices[obj->numerovertices].x,
            &obj->vertices[obj->numerovertices].y,
            &obj->vertices[obj->numerovertices].z);
            obj->numerovertices++;
            break;
    }
}
```

**Fuente.** Propia del autor.

Consecutivamente se almacena la geometría en los comandos de listas de OpenGL (glGenLists) que en este caso sirven para almacenar una geometría que se usará múltiples veces.

A continuación se inicia dentro de un ciclo, la construcción del objeto con la textura correspondiente: se establece las coordenadas para cada cara (la cual ya ha sido relacionada con una porción de textura (caras[i].uvn)) con glTexCoord2f, subsiguientemente se asocia a un conjunto de vértices (glVertex3f (obj->vertices[obj->caras[i].vn].n) y cada valor obtenido se guarda en el objeto OREj. ) como se muestra en la Figura 99.<sup>122</sup>

**Figura 99.** Ciclo en el cual se indexa para cada cara triangular un valor UV y luego a cada conjunto de vértices una cara.

```
for (i = 0; i < obj->numerocaras; i++) {
    glBegin(GL_TRIANGLES);
    glTexCoord2f(obj->caras[i].uv3, obj->caras[i].vv3);
    glVertex3f(obj->vertices[obj->caras[i].v1].x,
        obj->vertices[obj->caras[i].v1].y,
        obj->vertices[obj->caras[i].v1].z);
    glTexCoord2f(obj->caras[i].uv2, obj->caras[i].vv2);
    glVertex3f(obj->vertices[obj->caras[i].v2].x,
        obj->vertices[obj->caras[i].v2].y,
        obj->vertices[obj->caras[i].v2].z);
    glTexCoord2f(obj->caras[i].uv1, obj->caras[i].vv1);
    glVertex3f(obj->vertices[obj->caras[i].v3].x,
        obj->vertices[obj->caras[i].v3].y,
        obj->vertices[obj->caras[i].v3].z);
    glEnd();
}
glEndList();
}
```

**Fuente.** Propia del autor.

<sup>122</sup> Especificaciones OpenGL. [En línea] [En línea] URL <https://www.OpenGL.org/sdk/docs/man2/xhtml/glTexCoord.xml>.

- *Desplegar objeto.*

Se asocia la animación al objeto OREj y se despliegan las propiedades de OpenGL que permiten activar la texturización y el modo de dibujado del objeto. La Figura 100 muestra la sintaxis empleada para las funciones de OpenGL dentro del algoritmo.

**Figura 100.** Funciones de OpenGL que despliegan el objeto

```
glEnable(GL_TEXTURE_2D);
glTexEnvf(GL_TEXTURE_ENV, GL_TEXTURE_ENV_MODE, GL_REPLACE);
glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, obj->textura);
glPolygonMode(GL_FRONT, GL_FILL);
glCallList(obj->listmesh);
glDisable(GL_TEXTURE_2D);
```

**Fuente.** Propia del autor.

### 5.1.5 Haciendo Realidad Aumentada

Para mostrar finalmente un objeto en realidad aumentada por medio de la aplicación, el algoritmo se divide en etapas en las cuales se leen los parámetros de la cámara, se construye el objeto, se detecta el marcador y se despliega la cámara.

- *Transformación de matrices*

Convierte la matriz de ARToolKit a un formato de OpenGL (argConvGpara(patt\_trans, gl\_para)), para utilizar los valores de posición y orientación de la cámara real junto con los valores de la cámara virtual, esto para permitir la alineación del objeto con la posición del marcador frente a la cámara real (glMatrixMode(GL\_MODELVIEW))<sup>123</sup>.

La posición de la cámara virtual se establece con la función glLoadMatrixd(gl\_para) y glMatrixMode(GL\_MODELVIEW) que guarda las transformaciones generadas por los cambios de posición de la cámara<sup>124</sup>.

- *Cámara y parámetros de calibración*

<sup>123</sup> Funciones de ARToolKit. *gsub.h*. [En línea] [En línea] URL [http://ARToolKit.sourceforge.net/apidoc/gsub\\_8h.html](http://ARToolKit.sourceforge.net/apidoc/gsub_8h.html).

<sup>124</sup> Parametros y especificacion OpenGL. [En línea] [En línea]

<https://www.khronos.org/OpenGL/sdk/1.1/docs/man/glLoadMatrix.xml>



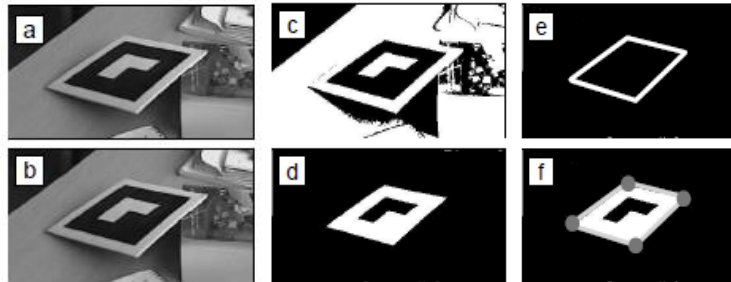
Funciona para abrir el dispositivo de video, leer los parámetros de calibración de la cámara y acomodarlos al tamaño de la imagen actual (resolución de píxeles). A continuación carga la información contenida en el marcador y abre una ventana de gráficos.

- *Detección de marca*

Se encarga de la detección del marcador para reproducir la imagen sobre él.

En primera instancia se captura una imagen (`arVideoGetImage`) y se visualiza (`argDisplImage`), posteriormente con la función `arDetectMarker` se detecta el marcador, ARToolKit convierte a escala de grises la imagen y se realiza la binarización, proceso que corresponde a seleccionar un valor de umbral para determinar a partir de qué valor de gris de la imagen, será considerada blanco o negro para la detección de formas cuadradas<sup>125</sup>, como se muestra en la Figura 101.

**Figura 101.** Detección e identificación de marcas de ARToolKit



**Fuente.** . Libro *Realidad Aumentada: un enfoque práctico con ARToolKit y Blender* (pág. 24)

b.) *Imagen en escala de grises.* c.) *binarización.* d.) *Umbral.* e.) *Extracción de componentes de la imagen para detectar el área del marcado.* f.) *detección de contornos para definir la región de la marca.*

A continuación la función devuelve información de la marca detectada y el número de marcas detectadas en los punteros *información de marca* y *numero de marca* respectivamente, cuyos valores son usados para estudiar en qué lugar se detecta con mayor fiabilidad el marcador.

---

<sup>125</sup> Funciones de ARToolKit. *video.h*. [En línea] [En línea] URL [http://ARToolKit.sourceforge.net/apidoc/video\\_8h.html](http://ARToolKit.sourceforge.net/apidoc/video_8h.html).

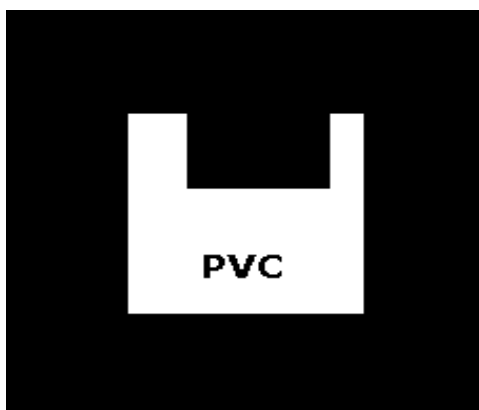
Finalmente con la función de matriz arGent TransMat que calcula la posición y rotación de la cámara real con respecto a la marca detectada, especificando el ancho y en centro de la marcador. Esta matriz será convertida al formato de matriz de OpenGL (véase *transformación de matrices*)<sup>126</sup>.

## 5.2 DISEÑO DE MARCADORES

Los marcadores son imágenes que son procesadas por el ordenador, y de acuerdo a la programación establecida en la aplicación de realidad aumentada, incorpora imágenes 3D o animaciones.

El diseño del marcador de la Figura 102 fue desarrollado, teniendo en cuenta que su diseño debía ser sencillo para ser detectado, ya que las grandes áreas blancas y negras son detectadas mucho mejor por ARToolKit, igualmente a mayor tamaño será mayor la distancia a la que podrá ser detectado el marcador. Su diseño fue realizado en el programa de edición de imágenes, GIMP.

**Figura 102.** Patrón de 48 cm x 48 cm para la aplicación de realidad aumentada como herramienta de capacitación, diseño y planeación en una línea de extrusión de tubería PVC



**Fuente.** Propia del autor.

Una vez diseñado e impreso el marcador, debe ser reconocido por ARToolKit, para ello esta librería dispone de una herramienta que permite la creación de

---

<sup>126</sup> Funciones de ARToolKit. Ar.h. [En línea] [En línea] URL [http://ARToolKit.sourceforge.net/apidoc/ar\\_8h.html](http://ARToolKit.sourceforge.net/apidoc/ar_8h.html).

marcadores propios, llamada mk\_patt (ARToolKit/bin/MK\_Patt), la cual despliega una ventana de video, en la que aparece el marcador y en su contorno se dibujan líneas de color rojo y dos líneas de color verde como se muestra en la Figura 103. Se debe orientar la imagen de modo que las líneas de color rojo se ubiquen en la esquina superior izquierda como lo muestra la imagen.

**Figura 103.** Reconocimiento del marcador por ARToolKit



**Fuente.** Propia del autor.

El fichero debe guardarse pulsando el botón izquierdo del ratón y ya estará listo para ser usado en la aplicación de realidad aumentada. El archivo debe guardarse con extensión punto Patt, como se muestra en la Figura 104.

**Figura 104.** Marcador salvado

```
C:\ArToolKit\ARToolKit\bin\mk_patt.exe
Enter camera parameter filename(Data/camera_para.dat):
Camera image size (x,y) = (640,480)
*** Camera Parameter ***
-----
SIZE = 640, 480
Distortion factor = 318.500000 263.500000 26.200000 1.012757
700.95147 0.00000 316.50000 0.00000
0.00000 726.09418 241.50000 0.00000
0.00000 0.00000 1.00000 0.00000
-----
Enter filename: PatronPvc.patt
Saved
-
```

**Fuente.** Propia del autor.

### ***Limitaciones***

El uso de marcadores presenta algunas desventajas que afectarán la calidad de detección:

- La orientación del marcador frente a la cámara, donde el peor de los casos será cuando el marcador no sea visible en su totalidad.
- Las condiciones de iluminación de la escena, por eso se recomienda el uso de materiales que no ofrezcan brillo especular.
- El tamaño físico de la marca y la complejidad de la marca.

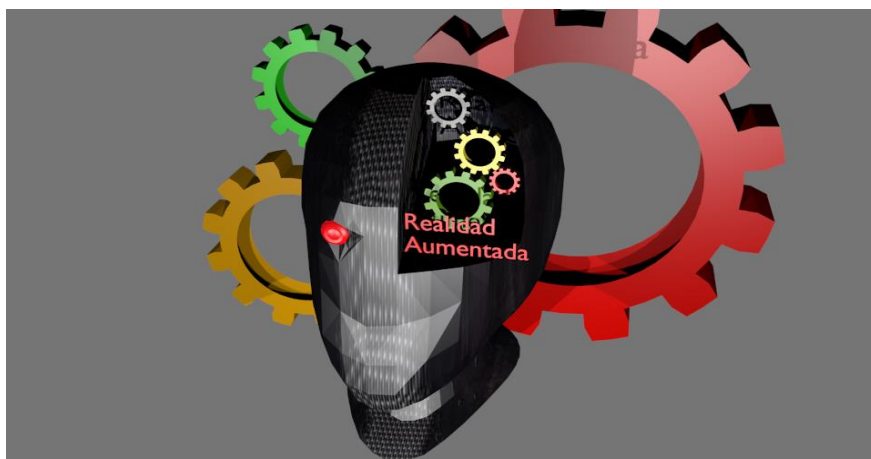
### **5.3 DISEÑO DE INTERFAZ GRÁFICA DE LA APLICACIÓN**

La interfaz de la aplicación funciona como herramienta de capacitación, diseño y planeación para hacer modificaciones sobre una línea de extrusión de tubería de PVC, valiéndose de las herramientas de la librería ARToolKit para proyectar las máquinas con realidad aumentada.

La aplicación cuenta con la proyección de máquinas para la capacitación del personal y la reproducción del proceso de fabricación de un tubo de cada máquina, para conceptos de producción de acuerdo a las necesidades del usuario. Así mismo cuenta con información relevante para los mantenimientos de la máquina.

La interfaz gráfica de usuario fue hecha en el ambiente de desarrollo de Windows forms de Visual Studio, y fue diseñada con el objetivo de facilitar la interacción del usuario con la aplicación, poniendo a su disposición un entorno visual sencillo que permita una fácil manipulación y acceso a todas las funciones de la aplicación de forma intuitiva. A continuación en la Figura 105, puede observarse el logo de la aplicación, creado con el fin de darle a esta herramienta un distintivo que le permita diferenciarse de otros sistemas de realidad aumentada.

**Figura 105.** Logo. Aplicación de realidad aumentada como herramienta de capacitación, diseño y planeación en una línea de extrusión de tubería PVC



**Fuente.** Propia del autor.

La aplicación brinda al usuario información de la siguiente forma:

### 5.3.1 inicio

La Figura 106 muestra el logo de la aplicación y ofrece una breve descripción de la misma, junto con un botón que permitirá al usuario probar el funcionamiento del marcador proyectando el distintivo de la aplicación.

**Figura 106.** Pestaña Inicio



**Fuente.** Propia del autor.

### 5.3.2 Máquinas

Aquí se implementa la realidad aumentada. El usuario encuentra en primera instancia todas las máquinas que están disponibles en la aplicación, con las pantallas de instrucciones para la capacitación del personal. Así mismo cuenta con un video que muestra el modo de ejecución de cada máquina dentro del proceso productivo de tubería de PVC.

El botón *Instrucciones* contiene las pantallas de capacitación sobre el manejo de la máquina y el botón *Máquina* muestra a cada una, en una animación de giro de 360 grados, para brindar una visualización general de esta.

En la Figura 107 se muestra el aspecto que tiene la opción máquinas y la función de cada elemento dentro de ella, para este caso usando como ejemplo la opción *máquinas/extrusora* (resaltado en un contorno rojo), aunque para cada máquina de la aplicación mostrada en imágenes posteriores, el funcionamiento es el mismo: tanque de refrigeración y carro de arrastre (Figura 108 de izquierda a derecha respectivamente); sierra y acampandora (Figura 109 de izquierda a derecha respectivamente).

**Figura 107.** Pestaña Máquinas - Extrusora



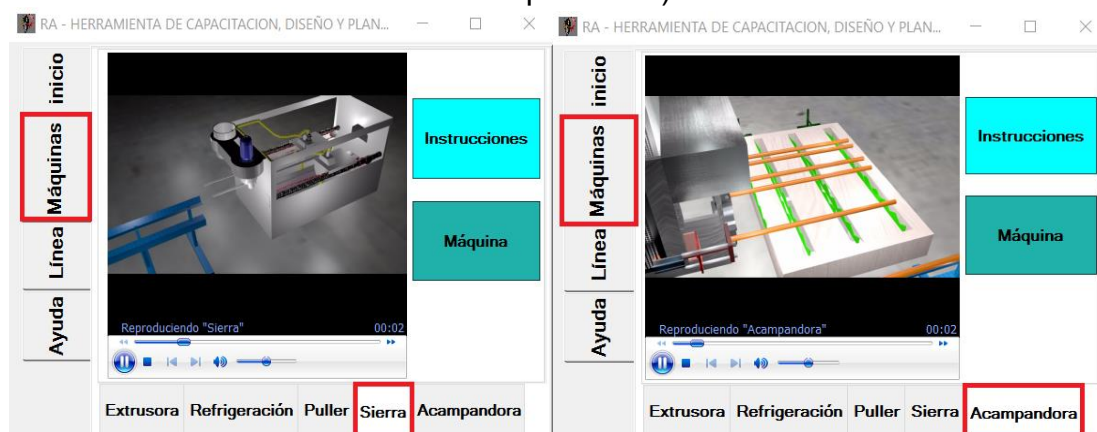
**Fuente.** Propia del autor.

**Figura 108.** Máquinas disponibles en la pestaña Máquinas (Tanque de refrigeración y Carro de arrastre)



**Fuente.** Propia del autor.

**Figura 109.** Máquinas disponibles en la pestaña Máquinas Sierra y acampanadora)



**Fuente.** Propia del autor.

### 5.3.3 Línea

Esta pestaña permite al usuario visualizar todas las máquinas de una línea de extrusión de PVC seleccionando el botón *Línea de Extrusión*, junto con un video que anima el proceso general de extrusión como se ve en la Figura 110. Esta opción también incluye funciones de realidad aumentada en el botón nombrado anteriormente.

**Figura 110. Pestaña Línea**



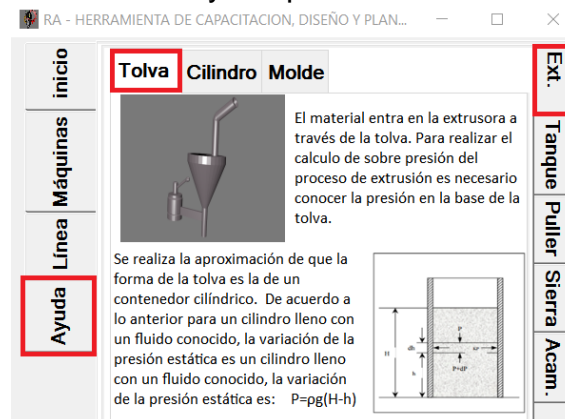
**Fuente.** Propia del autor.

#### 5.3.4 Ayuda

Contiene la Información relacionada al funcionamiento de cada máquina y las precauciones que se deben tener con la misma para mantenimientos futuros, como se muestra en las Figuras 111, 112 y 113, donde se destaca información sobre niveles de temperaturas y presión para diferentes partes de la máquina.

Se puede ver información para la extrusora: de presión estática para la tolva en la Figura 111, del flujo dentro del cilindro en la Figura 112 y flujo en la boquilla del molde en la figura 113.

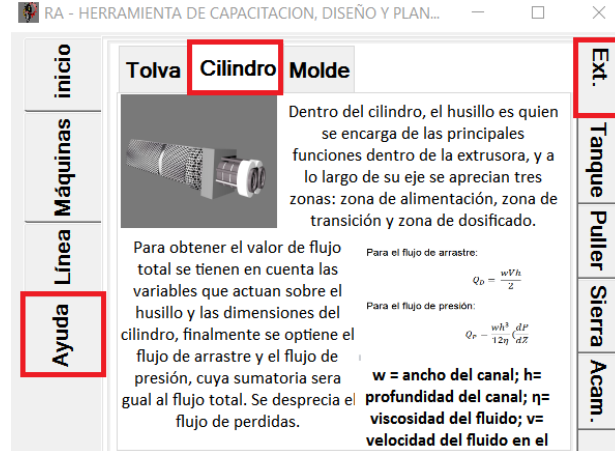
**Figura 111. Pestaña ayuda para la Tolva de la Extrusora.**



**Fuente.** Propia del autor.

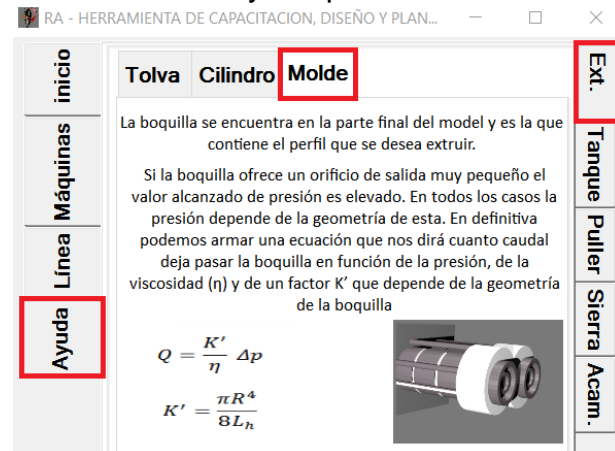


Figura 112. Pestaña Ayuda para el cilindro de la extrusora.



Fuente. Propia del autor.

Figura 113. Pestaña Ayuda para molde de la extrusora.



Fuente. Propia del autor.

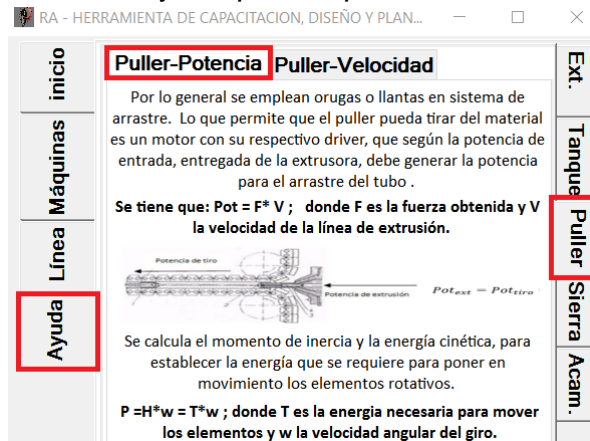
La Figura 114 muestra información de los métodos de enfriamiento empleados en una línea de extrusión haciendo uso del tanque de refrigeración y en la figura 115 las consideraciones matemáticas para la potencia de arrastre del carro de arrastre y en la Figura 116 las consideraciones matemáticas para la velocidad de esta misma máquina.

Figura 114. Pestaña ayuda para tanque de refrigeración.



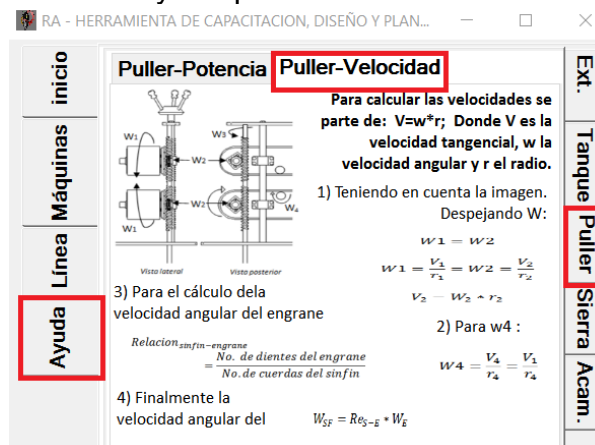
Fuente. Propia del autor.

Figura 115. Pestaña ayuda para la potencia de arrastre del puller.



Fuente. Propia del autor.

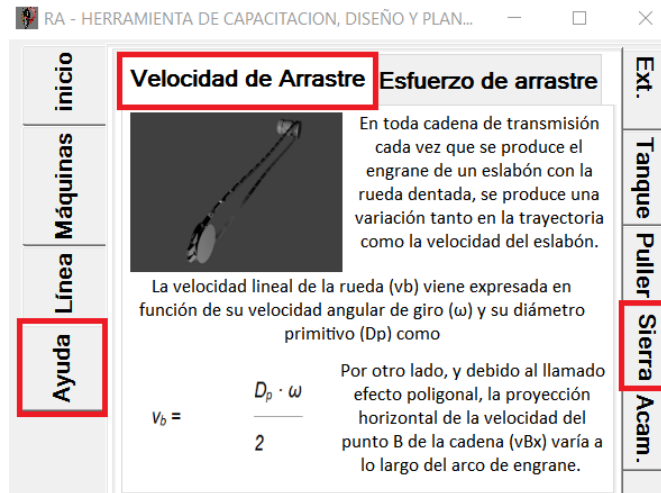
Figura 116. Pestaña ayuda para la velocidad de arrastre del puller.



Fuente. Propia del autor.

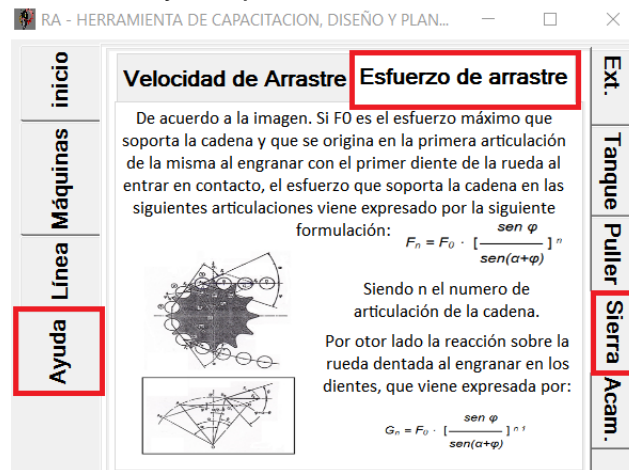
En la Figura 117, se observan las consideraciones matemáticas para la velocidad de la cadena de arrastre del sistema de corte, igualmente se observa en la Figura 118 las consideraciones matemáticas para el esfuerzo de arrastre de la cadena de la sierra.

**Figura 117.** Pestaña ayuda para la velocidad de arrastre de la sierra.



**Fuente.** Propia del autor.

**Figura 118.** Pestaña ayuda para el esfuerzo de arrastre de la sierra.



**Fuente.** Propia del autor.

Por último se observa en la figura 119 las piezas de acampanado y desplazamiento del sistema de campana para los tubos de PVC.

**Figura 119.** Piezas de acampanado y de desplazamiento de la acampanadora.



**Fuente.** Propia del autor.

## 5.4 LIBRERÍAS DEL ALGORITMO

Una Librería es un conjunto de funciones. Es como un programa, sólo que no tiene función main(). Contiene funciones típicas para que sean llamadas desde algún otro programa o librería.

### 5.4.1 Librerías utilizadas dentro de la aplicación

#### *ARToolKit*

- *Librería ar.h.* Bibliotecas de ARToolKit que proporcionan análisis de imágenes y detección de marcadores.
- *Librería video.h.* Contiene las funciones para obtener los fotogramas de los dispositivos soportados por cada sistema operativo.

Las plataformas soportadas con los controladores correspondientes (drivers) son:

- ✓ Windows: Microsoft DirectShow (VFW obsoleto).
- ✓ Linux: Video4Linux, GStreamer.
- ✓ Macintosh: QuickTime.
- ✓ SGI: a la LV.

- *Param.h*. Contiene las funciones para la calibración de la cámara, así mismo para cargar y guardar dichos datos para la biblioteca de ARToolKit.
- *Librería gsub.h*. Contiene las funciones de visualización de ARToolKit. Contiene funciones de OpenGL.

## OPENGL

- *Glut.h* contiene funciones para el dibujado de primitivas, creación de menús desplegable y administración de varias ventanas.

### 5.4.2 Tipo de librerías utilizadas dentro del algoritmo

Existen dos tipos de librerías: estáticas y dinámicas:

- *LIBRERIAS .DLL (DINAMICAS)* es una librería que contiene código y datos que pueden utilizarse por varios programas al mismo tiempo. Esto ayuda a promover la reutilización de código y uso eficaz de la memoria. Si se lleva un ejecutable a otra máquina las librerías tienen que ir con él. Se enlazan al ejecutar. El sistema operativo debe encontrarlas al ejecutar el programa. Si una aplicación se instaló bien, el sistema operativo no debe tener problema para encontrarla.
- *LIBRERIAS .LIB (ESTATICAS)* Una librería estática se “encastra” dentro del ejecutable lo que significa que puede ser llevado a otro ordenador sin temer a que falten librerías.

Los ficheros con extensión punto h, se denominan las cabeceras de las librerías. Estos contienen las *declaraciones* de las funciones. Una declaración muestra el nombre de la función, sus argumentos y valor de retorno, pero no toda la implementación asociada. Se invocan a través de la *directriz de preprocesador* (se llaman así porque se hace en la etapa de *pre-procesamiento* del compilador) *#include*, que realiza una simple sustitución. El compilador debe ser capaz de localizar las cabeceras.

En Visual Studio, se pueden definir las rutas en:

*Tools -> Options -> Projects and Solutions -> VC++ Directories ->  
Escoger Include Files del desplegable Show directories for.*

Hay algunos prototipos para todas funciones de OpenGL, los tipos y las macros son contenidos (por la convención) en el archivo de encabezamiento **gl.h**.

**Nota:** Al utilizar las librerías se van a llamar las dinámicas y también las estáticas para evitar problemas de dependencias entre estas.

- **LIBRERÍA OPENGL.** Puesto que OpenGL es una librería que permite la manipulación de gráficos 3D a todos los niveles, lo cual es necesario para poder visualizar los modelos 3D de realidad aumentada. Se utilizara desde Windows como OpenGL32.dll, OpenGL32.lib y con su fichero de cabecera gl.h, permitiéndolo acceder a todas las funciones de OpenGL propiamente dicho.
- **LIBRERÍA GLU.** Para trabajar con OpenGL se necesita de su biblioteca de utilidades GLU, la cual está compuesta por una serie de funciones de dibujo de alto nivel que, a su vez, se basan en las rutinas primitivas de OpenGL.

## **5.5 MODELO MATEMÁTICO DE LAS TRANSFORMACIONES GEOMÉTRICAS USANDO LA REPRESENTACIONES MATRICIALES**

Anteriormente se ha venido aclarando que la realidad aumentada consta de trabajar con sólidos modelados en 3D, los cuales se superponen a una imagen que está siendo capturada por una cámara en tiempo real. Dicho esto se hace necesario que en la representación de los sólidos, estos se puedan desplazar, rotar, escalar y demás acciones que le permita ser visualizado correctamente desde los diferentes puntos de vista del observador, aunque el objeto parezca estar quieto, para esto nos valemos de las transformaciones geométricas.

Las transformaciones geométricas son un conjunto de operaciones que se realizan en base a un sistema de referencia, estas según la operación que deseemos realizar sobre una figura nos indicarán la relación que existe entre los puntos contenidos en el sistema.

Para el desarrollo de la realidad aumentada se trabajarán con tres transformaciones principales, la traslación, la rotación y la escala. Y puesto que se está trabajando en 3D el sistema de referencia corresponderá a un sistema de coordenadas con dimensiones en X, Y y Z.

### 5.5.1 Traslación

Para realizar la traslación de un punto  $P_1$ , definido por las coordenadas  $(x, y, z)$ ,  $n_1$  unidades en el eje x,  $n_2$  unidades en el eje y, y  $n_3$  unidades en el eje z. Para definir las nuevas coordenadas se tiene que:

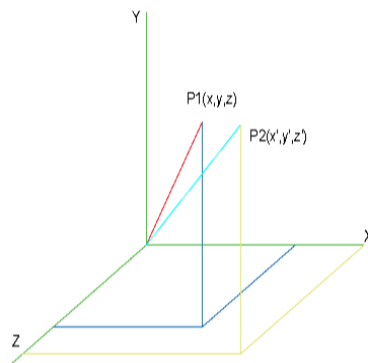
$$x' = x + n_1 \quad (39)$$

$$y' = y + n_2 \quad (40)$$

$$z' = z + n_3 \quad (41)$$

Y el nuevo punto  $P_2$  estará definido por las coordenadas  $(x', y', z')$  como se ve en la Figura 120.

**Figura 120.** Traslación



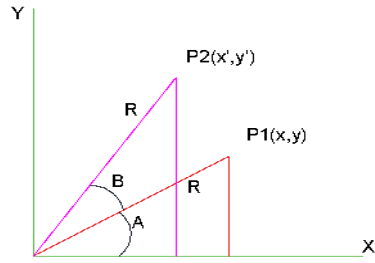
**Fuente.** Propia del autor.

### 5.5.2 Rotación

Una rotación se puede generar alrededor de un punto interno o externo a la figura, el cual será el origen, esta será definida por un ángulo  $B$  y dependerá del eje respecto al cual se realice la rotación.

En la Figura 121 se muestra la rotación respecto al eje Z:

**Figura 121.** Rotación eje z



**Fuente.** Propia del autor.

Por definición trigonométrica se tiene que:

$$x = R * \cos A \quad (42)$$

$$y = R * \sen A \quad (43)$$

$$x' = R * \cos (A + B) \quad (44)$$

$$y' = R * \sen (A + B) \quad (45)$$

$$\cos(A + B) = \cos A * \cos B - \sen A * \sen B \quad (46)$$

$$\sen (A + B) = \sen A * \cos B + \cos A * \sen B \quad (47)$$

Sustituyendo en las expresiones se tiene:

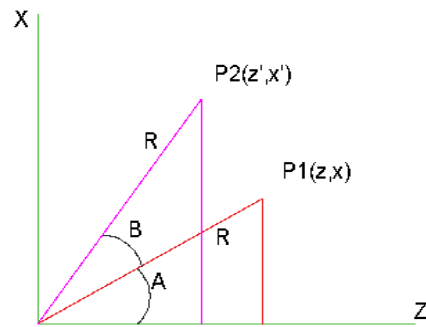
$$x' = x \cos B - y \sen B \quad (48)$$

$$y' = y \cos B + x \sen B \quad (49)$$

En la Figura 122 se muestra la rotación respecto al eje Y:



**Figura 122.** Rotación eje y



**Fuente.** Propia del autor.

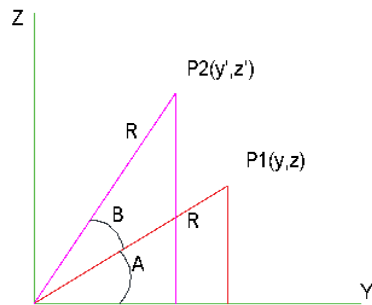
Realizando el mismo procedimiento que en la rotación anterior se tiene:

$$z' = z \cos B - x \sin B \quad (50)$$

$$x' = x \cos B + z \sin B \quad (51)$$

En la Figura 123 se muestra la rotación respecto al eje X:

**Figura 123.** Rotación eje x



**Fuente.** Propia del autor.

Realizando el mismo procedimiento que en la rotación anterior se tiene:

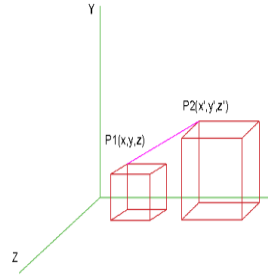
$$y' = y \cos B - z \sin B \quad (52)$$

$$z' = z \cos B + y \sin B \quad (53)$$

### 5.5.3 Escalado

La operación de escala se efectúa multiplicando las coordenadas de un punto por una constante, si se quiere un escalado uniforme, o cada coordenada por una constante diferente si se requiere otro tipo de escalado, por lo que se tendrán presentes los tres factores de escala que serán  $S_x, S_y, S_z$  como se ve en la Figura 124.

**Figura 124. Escalado**



**Fuente.** Propia del autor.

$$x' = S_x * x \quad (54)$$

$$y' = S_y * y \quad (55)$$

$$z' = S_z * z \quad (56)$$

Con los procedimientos anteriores se puede ver que para realizar una transformación en forma de traslación se efectúa una suma, en cambio para realizar rotación y cambio de escala lo que se efectúa es una multiplicación. Ya que la naturaleza de las operaciones es diferente esto dificulta la posibilidad de generalizar los procesos en las transformaciones. Para evitar esto se suele utilizar un sistema de coordenadas homogéneo, que consta de añadir una dimensión más al sistema de coordenadas que ya se tiene, además de expresar los sistemas de coordenadas en forma matricial.

Con lo que quedarían  $(wx, wxy, wz, w)$

Donde  $w$  representa un factor de escala el cual por comodidad y para que no altere los valores dados en los otros ejes se tomará  $w = 1$

Quedando:  $(x, y, z, 1)$

En forma matricial y coordenadas homogéneas las transformaciones anteriores quedarían:

#### 5.5.4 Traducción

Expresando el sistema en coordenadas homogéneas y utilizando la matriz T apropiada, se puede expresar la traslación como una multiplicación, al igual que las otras dos transformaciones.

$$P1 = [x \ y \ z \ w] \quad (61)$$

$$P2 = [x' \ y' \ z' \ w'] \quad (62)$$

$$T = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ n_1 \ n_2 \ n_3 \ w] \quad (63)$$

$$w = 1 \quad (63)$$

$$P2 = P1 * T \quad (64)$$

$$\begin{aligned} & [x' \ y' \ z' \ w'] \\ = & [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ n_1 \ n_2 \ n_3 \ 1] * [x \ y \ z \ 1] \\ = & [x + n_1 \ y + n_2 \ z + n_3 \ 1] \end{aligned} \quad (65)$$

Esta forma además facilita el realizar la operación inversa, o deshacer una transformación, simplemente multiplicando el nuevo punto por la matriz inversa, para este caso sería:

$$T^{-1} = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ -n_1 \ -n_2 \ -n_3 \ 1] \quad (66)$$

#### 5.5.5 Rotación

Para la rotación las ecuaciones halladas, con los giros alrededor de X, Y y Z quedarían:

Para el eje Z:

$$R(z) = [\cos B \ \sin B \ 0 \ 0 \ -\sin B \ \cos B \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1] \quad (67)$$

Para el eje Y:

$$R(y) = [\cos B \ 0 \ -\sin B \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ -\sin B \ 0 \ \cos B \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1] \quad (68)$$

Para el eje X:

$$R(x) = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ \cos B \ \sin B \ 0 \ 0 \ -\sin B \ \cos B \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1] \quad (69)$$

Para deshacer una rotación, lo que se hace es girar el nuevo punto un ángulo  $-B$

. Por lo que la matriz inversa  $R^{-1}$  será la misma, pero con el ángulo de signo contrario.

### 5.5.6 Escala

Para realizar el cambio de escala, la matriz utilizada seria:

$$S = [S_x \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ S_y \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ S_z \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1] \quad (70)$$

Y para deshacer esta transformación su matriz inversa seria:

$$S^{-1} = [\frac{1}{S_x} \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ \frac{1}{S_y} \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ \frac{1}{S_z} \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1] \quad (71)$$

Teniendo ya las transformaciones en coordenadas homogéneas y en forma matricial, es mucho más práctico realizar las operaciones sobre un punto de forma que no se necesite realizarlas una a una, sino que se puedan realizar simultáneamente, es decir si se necesita trasladar un punto, luego realizar un escalado y por último una rotación, simplemente se multiplique el punto inicial por una matriz que incluya las transformaciones necesarias. Para realizar esto vamos a trabajar con composición de matrices.

La composición de matrices básicamente consiste en multiplicar las matrices en un orden establecido.

Para las transformaciones 3D la matriz compuesta seria:

$$M = [a_{11} \ a_{12} \ a_{13} \ 0 \ a_{21} \ a_{22} \ a_{23} \ 0 \ a_{31} \ a_{32} \ a_{33} \ 0 \ t_x \ t_y \ t_z \ 1] \quad (72)$$

Compuesta por la matriz A, que representa el cambio de escala y rotación sobre el punto. Y T representa el vector de traslación.

Así para realizar las transformaciones sobre un objeto se aplica la matriz  $M$  a todos los vértices del objeto.

Ahora pudiendo hacer varias transformaciones al tiempo se puede trabajar mejor algunos casos que se dan al aplicar sobre todo la rotación y el cambio de escala.

Por ejemplo, en la escala hay ocasiones en las que además de escalar, se realiza una traslación no deseada, por lo que se sigue un procedimiento para escalar alrededor de un punto fijo con el fin de evitar que esto suceda.

- Consiste en establecer el punto fijo sobre el que se va a trabajar, ya sea un vértice de la figura o su centro.

Las coordenadas de este se multiplican por una matriz  $T$ , para así trasladarlo al origen del sistema.

En el nuevo punto se multiplica por la matriz  $S$  para dar escala al objeto, por estar en el origen (0,0,0) el cual es neutro no se ve afectado por la multiplicación, por ello no afecta el cambio de escala.

Luego se multiplica por la matriz  $T^{-1}$  que va a deshacer la transacción inicial, dejándonos como resultado el escalado deseado en el mismo punto donde se encontraba el objeto.

Gracias a la composición de matrices el procedimiento anterior se puede realizar en una sola operación.

Lo mismo pasa en el caso de la rotación, cuando se quiere girar alrededor de un punto fijo que no es el origen, se sigue el mismo procedimiento, solo que en el tercer punto no se multiplicaría por una matriz  $S$ , sino que se haría por una matriz  $R$  e igualmente para realizar todo el procedimiento se realiza con una matriz compuesta  $M$ .

Otro caso que se presenta en la rotación es cuando se quiere realizar un giro alrededor de un eje que no es paralelo al origen, en este caso se sigue un procedimiento similar:

- Se traslada y gira el objeto de modo que el eje de giro coincida con algún eje en el eje de coordenadas principal.

Luego se realiza el giro deseado del ángulo  $B$ .

- Luego se utilizan las matrices de giro y traslación inversas, para deshacer las operaciones del primer punto.

Y así es como se trabajan estas tres transformaciones principales, para la realidad aumentada.



## 6 INTEGRACIÓN Y RESULTADOS

Este capítulo presenta por medio de herramientas gráficas, las etapas de desarrollo de la aplicación de realidad aumentada y presenta los resultados obtenidos en el proceso de validación del sistema con el que se quiere verificar su funcionamiento.

### 6.1 VALIDACIÓN DEL SISTEMA MECATRÓNICO PROYECTADO

A continuación se muestra las actividades de verificación implementadas para validar cada parte del sistema y los resultados obtenidos en su integración; sin embargo, previamente se explica de forma breve por medio de herramientas gráficas, el proceso de desarrollo del sistema mecatrónico implementado en este trabajo y que puede entenderse en cuatro etapas como se presenta en la Figura 125, en las cuales se identifican las necesidades del proyecto, dar un enfoque diferente para cada actividad y cumplir con cada uno de los objetivos propuestos.

**Figura 125.** Etapas de desarrollo de la aplicación



**Fuente.** Propia del autor

La etapa de diseño e implementación de la aplicación de realidad aumentada, se resume como se ve en la Figura 126 en: modelamiento de máquinas; algoritmo de programación; diseño de marcadores e interfaz gráfica y cuya integración da como resultado una aplicación como herramienta de planeación, diseño y capacitación.

**Figura 126.** Etapa de diseño e implementación de la aplicación de realidad aumentada

**Diseño e implementación de la aplicación de Realidad Aumentada**



**Fuente.** Propia del autor.

Cada una de las etapas de diseño e implementación resumidas en el cuadro anterior, pretenden mostrar el enfoque que se le ha dado al proceso de validación presentado a continuación.

### 6.1.1 Validación de máquinas modeladas en Blender Vs Máquinas reales

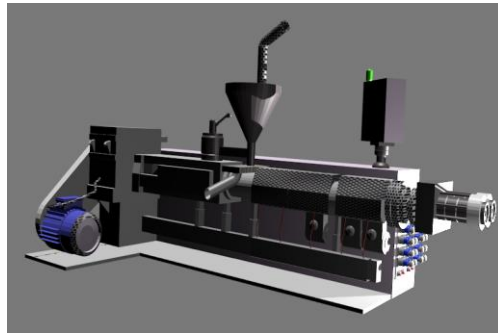
Es de vital importancia para el éxito de la aplicación, brindar diseños que se sustenten en modelos reales, ya que esto permitirá que el usuario se acerque más a los resultados deseados. Por tanto el diseño de las máquinas realizadas en Blender deben corresponder con los modelos reales que se encuentran en la planta de producción de la empresa Tecnosa, para ello se presenta material fotográfico de las máquinas virtuales y reales, que permitan hacer una comparación visual entre ambas.



- **Sistema de extrusión**

Se aprecia en la Figura 127, en el modelo virtual (Imagen de la izquierda), el sistema de alimentación, el motor y la caja reductora principal del sistema que corresponde con las piezas del modelo real (Imagen de la derecha).

**Figura 127.** Extrusora Virtual vs Extrusora real



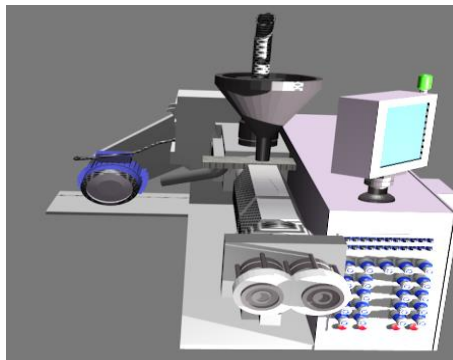
**Fuente.** Propio del Autor.



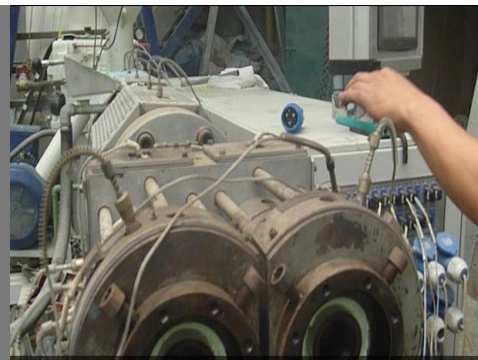
**Fuente.** Planta Tecnosa.

En la Figura 128, se observa el molde de la extrusora y la pantalla de supervisión tanto en el sistema virtual (imagen de la izquierda) como en el real (imagen de la derecha).

**Figura 128.** Extrusora con molde



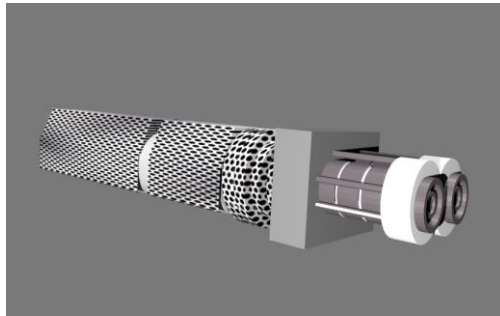
**Fuente.** Propio del Autor.



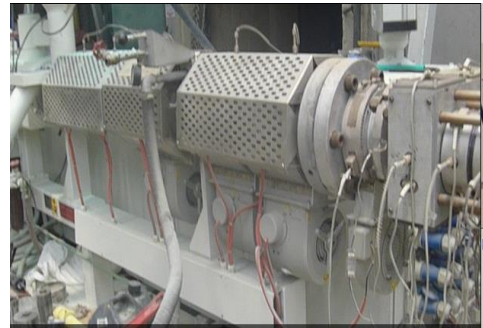
**Fuente.** Planta Tecnosa

La Figura 129 muestra la comparación del cilindro que contiene el husillo del sistema de extrusión, el modelo virtual (imagen de la izquierda) el cual corresponde al modelo real (imagen de la derecha).

**Figura 129.** Cilindro



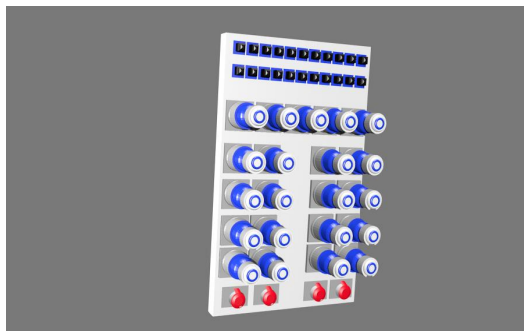
**Fuente.** Propio del Autor.



**Fuente.** Planta Tecnosa

A continuación se muestra en la Figura 130, el tablero de conexiones de termocupas y resistencias, y se observa que ambas imágenes corresponden en posición y número total de tomas (47 tomas).

**Figura 130.** Conexión de termocupas y resistencias.



**Fuente.** Propio del Autor.

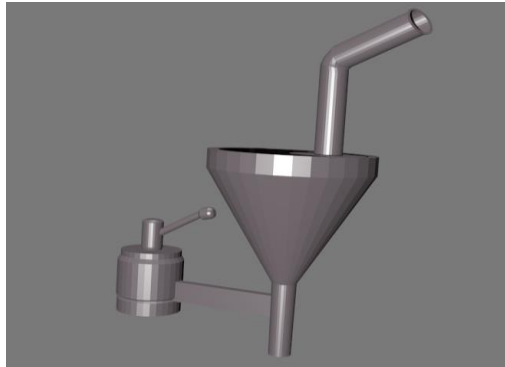


**Fuente.** Planta Tecnosa

El sistema de alimentación del modelo virtual (imagen de la izquierda)

corresponde al real (imagen de la derecha) de la Figura 131, ya que en ambas imágenes muestran un sistema en forma de embudo que está acompañado de un sistema que le proporciona movimiento a la tolva.

**Figura 131.** Sistema de alimentación



**Fuente.** Propio del Autor.

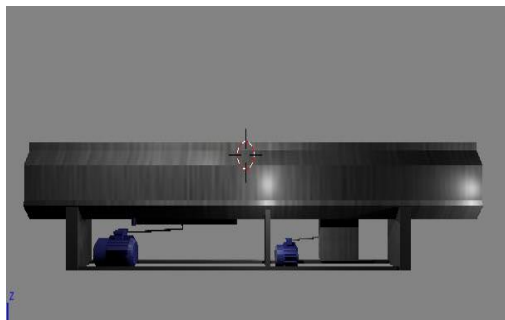


**Fuente.** Planta Tecnosa.

- **Sistema de refrigeración**

Como se muestra en la Figura 132 ambas imágenes ilustran un tanque de gran longitud que está compuesto por una bomba de agua y la bomba de vacío, la primera suele ser más grande en tamaño que la segunda.

**Figura 132.** Tanque de refrigeración



**Fuente.** Propio del Autor.

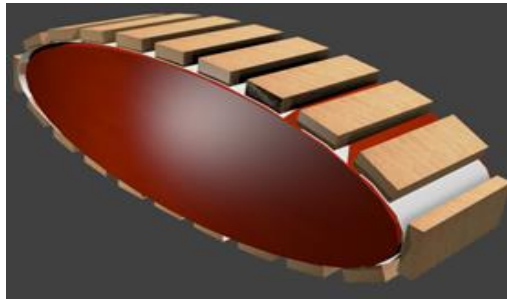


**Fuente.** Planta Tecnosa

- **Sistema de arrastre.**

El sistema de arrastre como se ve en ambas imágenes de la Figura 133, está compuesto principalmente de una oruga que se encarga de transportar el tubo.

**Figura 133.** Puller Virtual vs Puller real



**Fuente.** Propio del Autor.

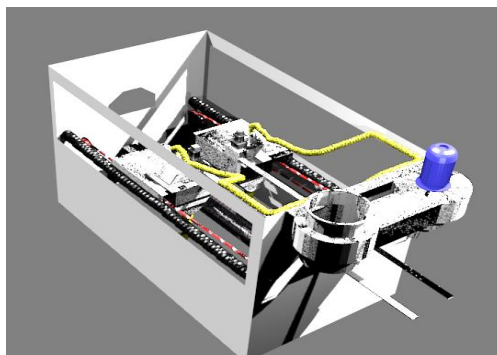


**Fuente.** Planta Tecnosa

- **Sistema de corte.**

La imagen real (imagen de la derecha) de la Figura 134, muestra los dos carros de la sierra con los conductos que extraen la viruta del sistema de corte, y que corresponde con los carros y los conductos de color amarillo, mostrados en la imagen de la izquierda.

**Figura 134.** Sierra (Sistema de corte)



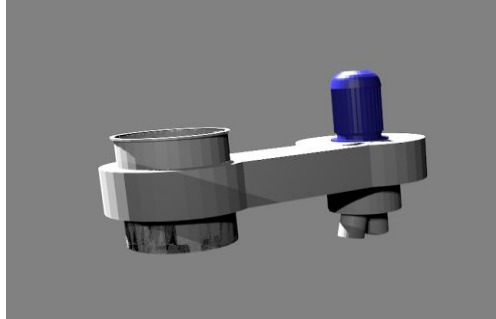
**Fuente.** Propio del Autor.



**Fuente.** Planta Tecnosa.

Las dos imágenes de la Figura 135, muestran las dos entradas de los conductos de extracción que vienen del sistema de corte, un motor que controla la succión del material y la salida de este.

**Figura 135.** Extractor



**Fuente.** Propio del Autor.

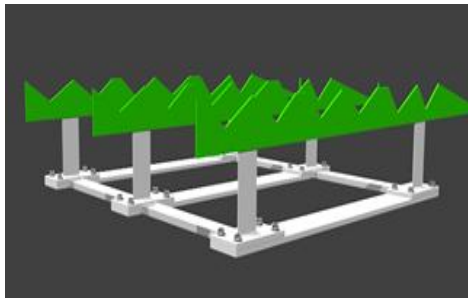


**Fuente.** Planta Tecnosa.

- **Sistema de acampanado**

En la imagen real de la máquina (imagen de la derecha) de la Figura 136, se observa un sistema dentado que sirve para posicionar los tubos y llevarlos hasta los hornos de calentamiento, mecanismo que corresponde con el sistema de arrastre mecánico y lineamiento de los tubos, mostrado en la imagen virtual de la máquina ubicada a la izquierda.

**Figura 136.** Sistema de arrastre mecánico y lineamiento de los tubos



**Fuente.** Propio del Autor.

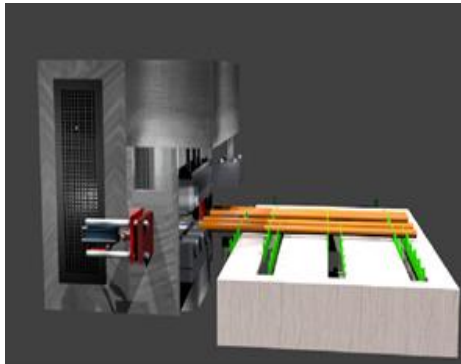


**Fuente.** Planta Tecnosa.



Las dos imágenes de la Figura 137, corresponden al perfil derecho de la acampanadora, donde en ambas se aprecia los cilindros neumáticos para el posicionamiento de los tubos, la mesa de traslado de estos y el sistema mecánico para arrastre.

**Figura 137.** Acampanadora



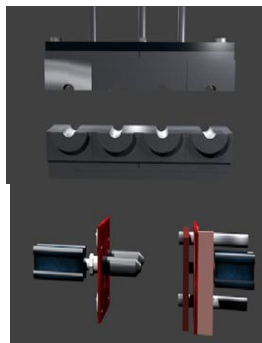
**Fuente.** Propio del Autor.



**Fuente.** Planta Tecnosa.

Los hornos del sistema de acampanado como se ve en ambas imágenes de la Figura 138, es una prensa con capacidad de cuatro tubos que calientan el material, igualmente los cilindros neumáticos son aquellos que en la imagen real (imagen de la derecha), sostienen los tubos para el posterior acampanado y que en la imagen virtual se muestran debajo de los hornos.

**Figura 138.** Hornos por calentamiento infrarrojo y Cilindros neumáticos con acoples



**Fuente.** Propio del Autor.



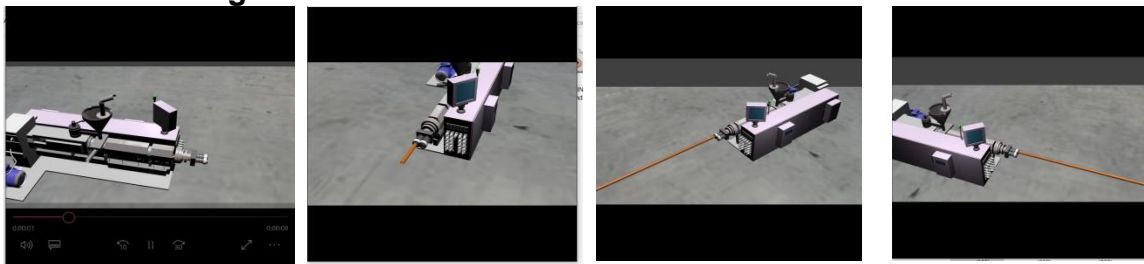
**Fuente.** Propio del Autor. (Planta Tecnosa.)

### 6.1.2 Validación de animación Vs Proceso real

Brindar información sobre el proceso productivo para cada máquina es tan importante como suministrar los prototipos virtuales basados en los modelos reales; por tanto se debe tener en cuenta que la secuencia de producción de un tubo en la animación sea semejante a la secuencia real de las máquinas, ya que será un factor influyente en el rendimiento de la producción. La validación presentada a continuación corresponde a los videos mostrados en la opción máquinas de la interfaz gráfica de la aplicación (véase capítulo 5. Diseño de la interfaz grafica de la aplicación).

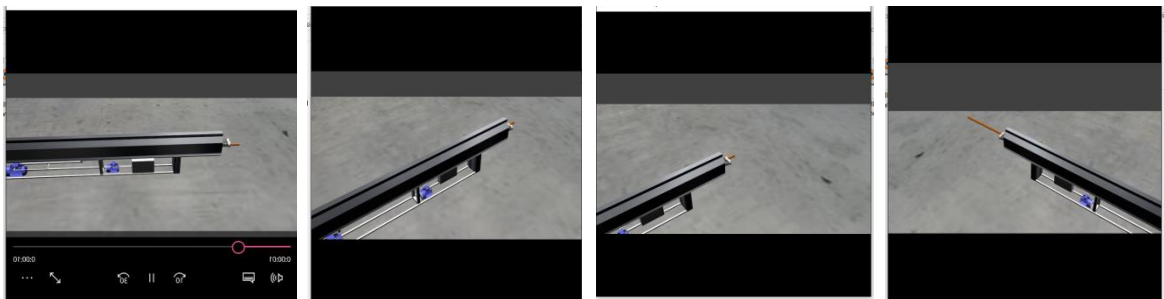
En las siguientes figuras, se muestra en cuatro cuadros el proceso de animación para cada máquina, donde la Figura 139 y 140 muestran como el tubo va saliendo de la extrusora y el tanque de refrigeración con un diámetro definido.

**Figura 139.** Secuencia de animación de la extrusora.



**Fuente.** Propia del autor.

**Figura 140.** Secuencia de animación del tanque de refrigeración.

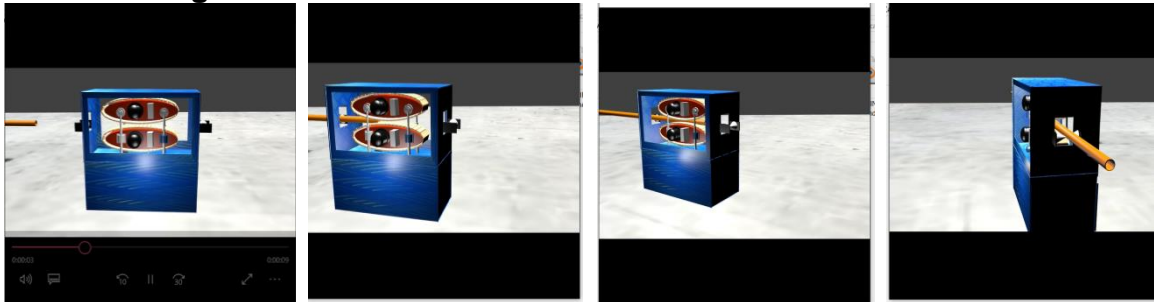


**Fuente.** Propia del autor.

Los cuadros de la Figura 141, corresponden al movimiento del puller que ayuda a transportar el tubo hacia el sistema del corte; se observa en el segundo y tercer cuadro en especial como el movimiento de las orugas permite el desplazamiento de los tubos en su interior, hasta llevarlo hacia afuera

nuevamente, como se ve en el último cuadro de la secuencia.

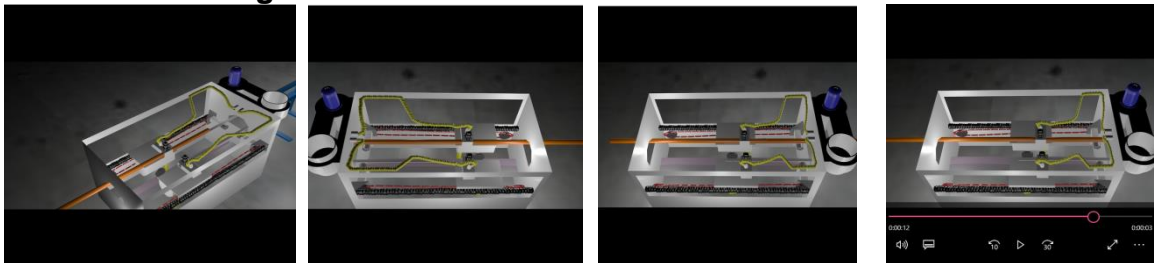
**Figura 141.** Secuencia de animación del carro de arrastre.



**Fuente.** Propia del autor.

En la Figura 142 se puede ver la secuencia de la sierra, que se compone básicamente del movimiento de los carros, que se desplazan hacia atrás como se ve en el primer cuadro y luego hacia adelante en el segundo, y luego hacia el medio en los cuadros tres y cuatro, ya que cuando se ha identificado el lugar de corte en el tubo, el carro de desplaza junto con este hasta lograr el corte.

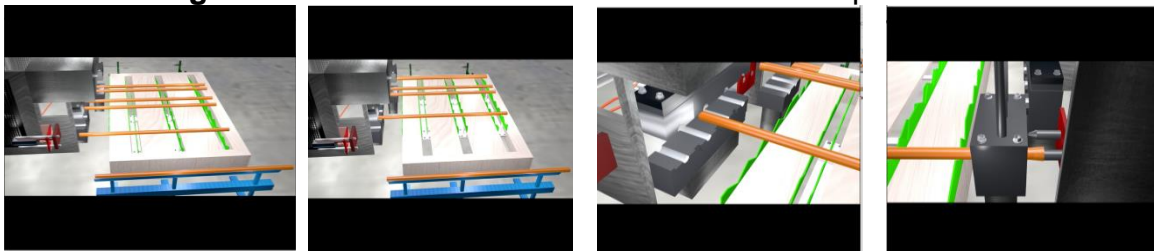
**Figura 142.** Secuencia de animación de la sierra.



**Fuente.** Propia del autor.

Finalmente la acampanadora en el primer cuadro de la Figura 143 toma un tubo, lo desplaza como se ve en el cuadro número dos, lo posiciona en los hornos, del cuadro número tres, y en el último cuadro lo ubica en los cilindros neumáticos con acoples que le darán la forma acampanada.

**Figura 143.** Secuencia de animación de la acampanadora.



**Fuente.** Propia del autor.

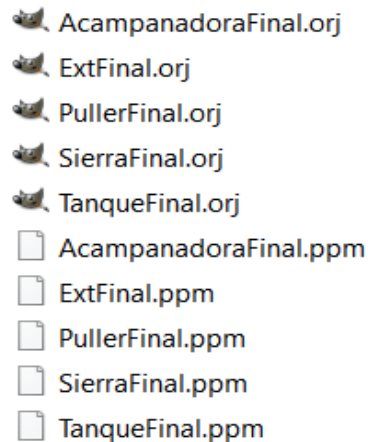


Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, ya que la secuencia de las figuras anteriores corresponde en semejanza al proceso real de producción de cada máquina.

### 6.1.3 Validación del formato OREj y texturas en formato ppm (mapeado UV).

El formato OREj y el mapa de texturas, son condiciones que deben de cumplirse para que el objeto se proyecte con la geometría y la textura adecuada, proporcionando una recreación real de cada máquina, donde exista la posibilidad para el usuario de diferenciar cada una piezas que la conforman. Para cada máquina debe de existir un formato con la geometría (OREj) y otro con la textura (ppm), como se muestra en la Figura 144.

**Figura 144.** Archivos OREj y ppm de la aplicación

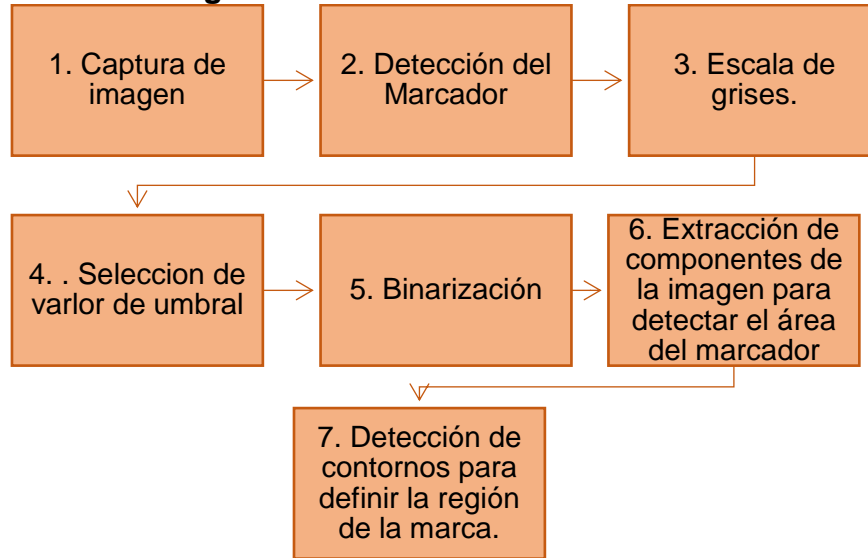


**Fuente.** Propia del autor.

### 6.1.4 Validación del marcador.

La visualización de las máquinas depende de la detección del marcador, el cual debe ser reconocido por ARToolKit, donde dicho reconocimiento genera un archivo patt que posteriormente debe ser ubicado dentro de los documentos del programa; esto asegura que el marcador funcione de forma correcta proyectando el objeto correspondiente. De igual forma también se deben de tener en cuenta los parámetros de diseño para el marcador y las condiciones de luminosidad de la escena (véase *capítulo 4 Diseño de marcadores*). La detección de un marcador se explica en la Figura 145.

**Figura 145.** Detección de marcadores

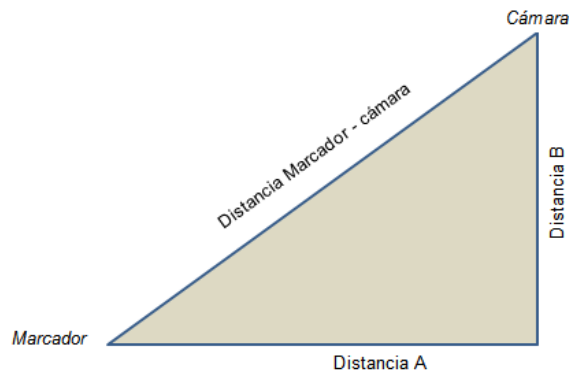


**Fuente.** Propia del autor.

De acuerdo a la información anterior, las pruebas de validación son realizadas tomando en cuenta: distancia entre cámara y marcador (valor resultante de las distancias A y B, como se muestra en la Figura146; intensidad de iluminación del ambiente (alta, media y baja luminosidad) y material empleado para la impresión del marcador.

Para todas las pruebas se emplea un marcador de 48 cm x 48 cm, impreso en papel, ya que es un material que no ofrece brillo especular.

**Figura 146.** Relación de distancias para marcador - cámara.



**Fuente.** Propia del autor.

La Tabla 9, muestra la información recogida en cada una de las pruebas realizadas para la detección del marcador.

**Tabla 9.** Datos para prueba de reconocimiento del marcador

N° Prueba	Distancia A (m)	Distancia B (m)	Distancia cámara-marcador (m)	Luminosidad de ambiente
<i>Prueba #1</i>	0.92	1.30	1.59	Media
<i>Prueba #2</i>	2.15	1.30	2.51	Media
<i>Prueba #3</i>	2.96	1.30	3.23	Media
<i>Prueba #4</i>	2.96	2.04	3.54	Media
<i>Prueba #5</i>	3.90	2.46	4.61	Media
<i>Prueba #6</i>	2	2.97	3.58	Alta

**Fuente.** Propia del Autor.

Se procedió a realizar diferentes pruebas para poder establecer la distancia a la cual la aplicación detecta el marcador y proyecta el logo.

En la Figura 147 se muestra la detección del marcador a una distancia de 1.59 metros.

**Figura 147.** Prueba #1 reconocimiento de marcador con logo de aplicación.



**Fuente.** Propia del autor.

En la Figura 148 se puede apreciar la proyección del logo a una distancia de 2.51 metros del marcador.

**Figura 148.** Prueba #2 reconocimiento de marcador con logo de aplicación.



**Fuente.** Propia del autor.

La Figura 149, corresponde al resultado obtenido a una distancia de 3.23 metros del marcador

**Figura 149.** Prueba #3 reconocimiento de marcador con logo de aplicación.



**Fuente.** Propia del autor.

En la Figura 150, la prueba se llevó a cabo a la misma distancia horizontal que la Figura 149, que corresponde a una distancia de 2.96 metros del marcador, pero con una altura de 2.04 metros, para una distancia total de 3.54 metros entre el marcador y la cámara.

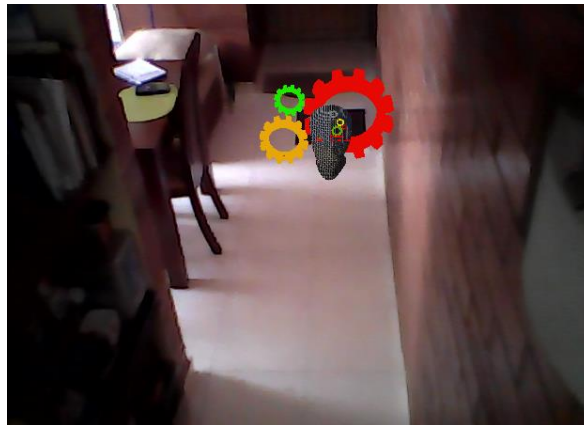
**Figura 150.** Prueba #4 reconocimiento de marcador con logo de aplicación.



**Fuente.** Propia del autor.

La Figura 151 muestra la última prueba llevada a cabo dentro de un espacio con iluminación intermedia, con una distancia entre marcador y cámara de 4.61 metros, con una distancia horizontal de 3.90 metros y una altura de 2.46 metros.

**Figura 151.** Prueba #5 reconocimiento de marcador con logo de aplicación.



**Fuente.** Propia del autor.

La Figura 152 muestra la última prueba, la cual fue realizada en un espacio abierto con alta intensidad de luz, a una distancia horizontal de 2 metros y una altura de 2.97 metros del suelo, en total una distancia entre el marcador y la cámara de 3.58 metros de distancia, y en la cual la proyección del logo no fue posible.

**Figura 152.** Prueba #6 reconocimiento de marcador con logo de aplicación.



**Fuente.** Propia del Autor.

De acuerdo a los resultados obtenidos en cada una de las pruebas llevadas a cabo, se observa que los espacios que cuentan con alta intensidad luminosa dificultan la detección del marcador, ya que la iluminación juega un papel importante en el proceso de adquisición de imágenes en la visión artificial, dado que esta proporciona las condiciones ópticas para el reconocimiento del marcador. Por tanto, tal y como se muestra en la Figura 146, la alta intensidad de luz natural no permitió que fuese posible detectar el marcador y posteriormente proyectar la imagen de forma correcta; situación contraria en el desarrollo de las pruebas 1, 2, 3, 4 y 5, donde la intensidad luminosa de la escena es menor, permitiendo el reconocimiento del marcador y por consiguiente la proyección de la imagen<sup>127</sup>.

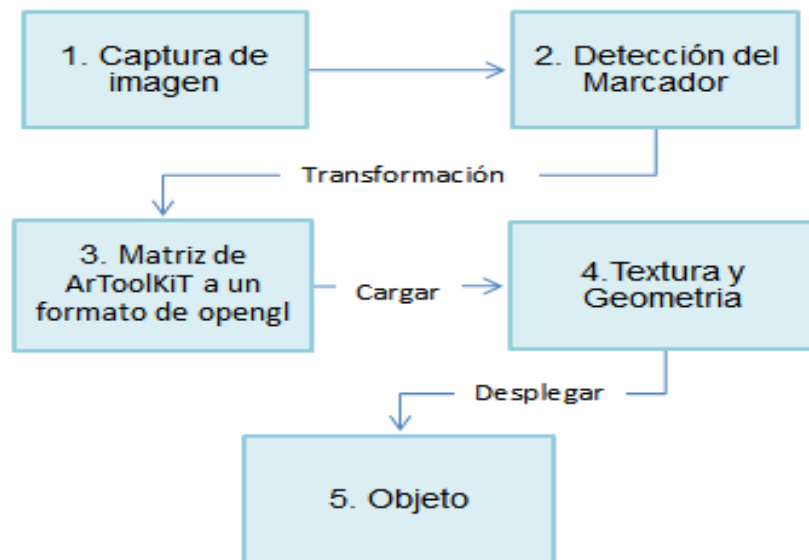
### 6.1.5 Validación de interfaz gráfica de aplicación

La aplicación de realidad aumentada como herramienta de planeación, diseño y capacitación sobre líneas de extrusión de PVC, integra las funciones de realidad aumentada para la proyección de máquinas como instrumento de capacitación, por tal razón es de gran importancia la adecuada proyección de los objetos, y por tanto deben considerarse en este proceso de integración y validación todos los aspectos que puedan afectar su funcionamiento. A continuación se evidencia en la Figura 153 el proceso de realidad aumentada llevado a cabo por el algoritmo de la aplicación.

---

<sup>127</sup> Empleando cámaras, software y un hardware convencional, los sistemas de visión modernos, Eusebio de la fuente, [en línea] URL <http://www.librovision.eii.uva.es/pdf/cap11.pdf>

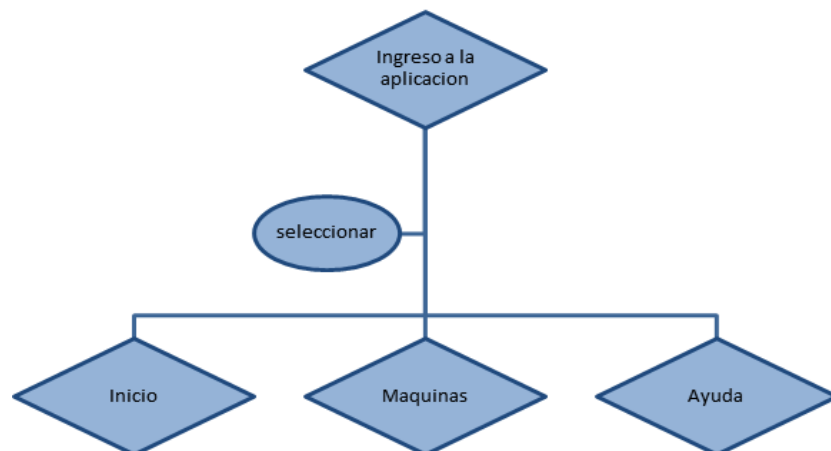
**Figura 153.** Proceso de Realidad Aumentada



**Fuente.** Propia del autor.

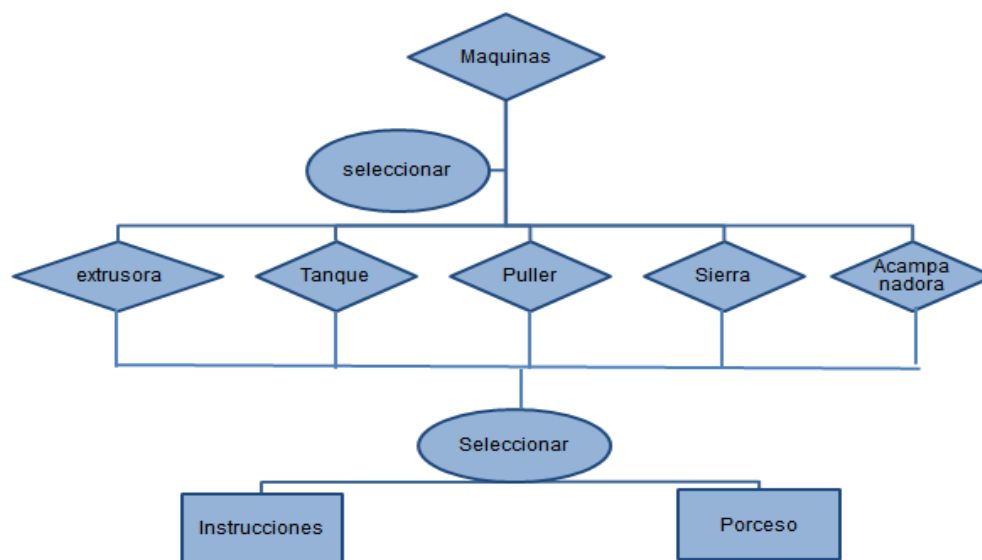
De la misma forma en las Figuras 154 y 155, se explica de forma breve el ingreso a las opciones de la aplicación con funciones correspondientes a realidad aumentada. Para mayor información del manejo de la aplicación consulte el manual de usuario (ver Anexo B).

**Figura 154.** Ingreso a la aplicación



**Fuente.** Propia del autor.

**Figura 155.** Opción de la aplicación con funciones de realidad aumentada



**Fuente.** Propia del autor.

De acuerdo a la información anterior, se verifica el funcionamiento del sistema de capacitación que corresponde a la opción *máquinas/instrucciones* de la interfaz gráfica de la aplicación (*capítulo 5. Diseño de interfaz gráfica de la aplicación*), tomando en cuenta la distancia mínima y máxima en que las máquinas proyectadas puedan observarse en su totalidad junto con las pantallas de información, para ello se tiene en cuenta los resultados obtenidos en las pruebas realizadas para el reconocimiento del marcador: Los espacios cuya intensidad de luz sea poca, brindan mejor detección del marcador. La distancia máxima y mínima entre cámara y marcador.

Para todas las pruebas se emplea un marcador de 48 cm x 48 cm, impreso en papel, ya que es un material que no ofrece brillo especular.

Los resultados obtenidos en la proyección de las máquinas y la secuencia de animación con realidad aumentada, fueron los siguientes.

### **Proyección de máquinas para capacitación de personal**

Se observa en las Figuras 150 a la 154, los resultados obtenidos en la proyección de las máquinas para capacitación del personal, con una distancia



entre el marcador y cámara de 5.8 metros de acuerdo a las información presentada en la Tabla 10, distancia máxima para que al ser proyectadas puedan observarse en su totalidad junto con las pantallas de información para la capacitación.

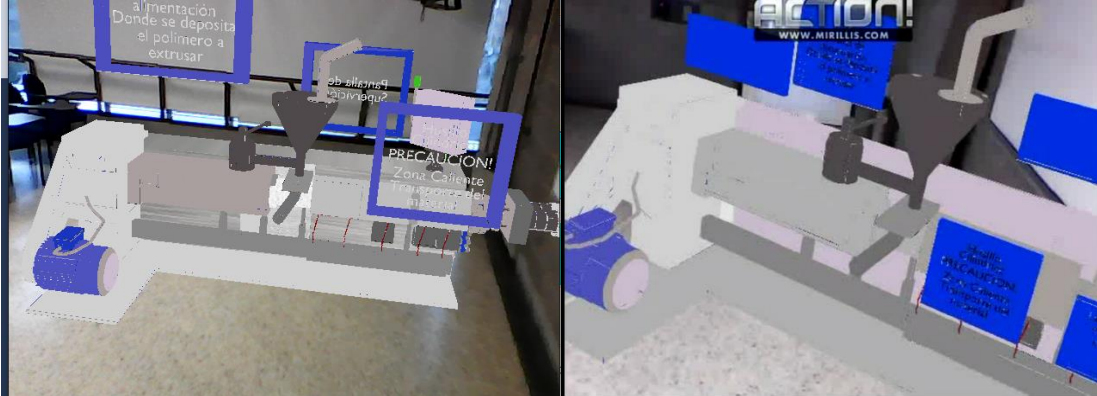
**Tabla 10.** Datos para prueba #1 de proyección de máquinas.

Prueba # 1. Distancia máxima	Distancia A (m)	Distancia B (m)	Distancia marcador- cámara (m)	Luminosidad
	5.29	2.5	5.8	Media

**Fuente.** Propia del Autor.

La Figura 156, muestra la proyección del perfil derecho y frontal de la extrusora con las pantallas de ayuda, en un ambiente de intensidad de iluminación media con una distancia de 5.8 metros entre cámara y marcador.

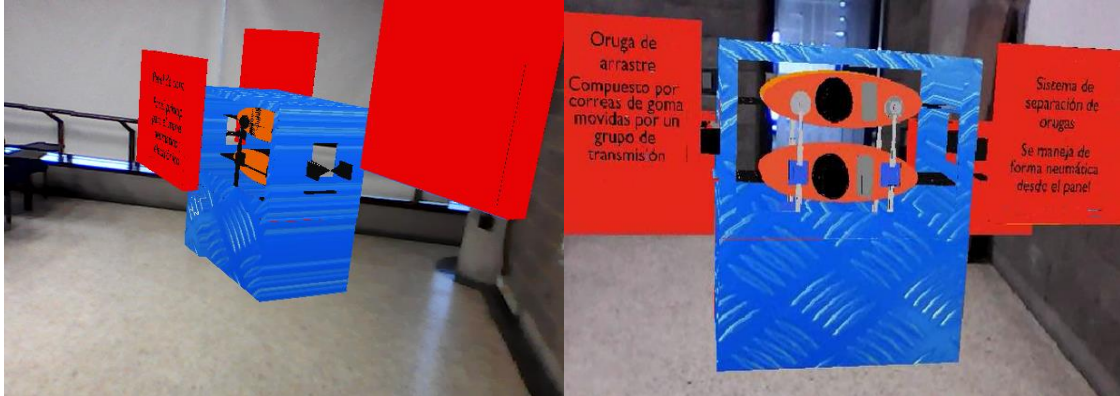
**Figura 156.** Prueba #1 proyección para extrusora.



**Fuente.** Propia del autor.

La Figura 157, muestra la proyección del perfil frontal y derecho del carro de arrastre con las pantallas de ayuda, en un ambiente de intensidad de iluminación media con una distancia de 5.8 metros entre cámara y marcador.

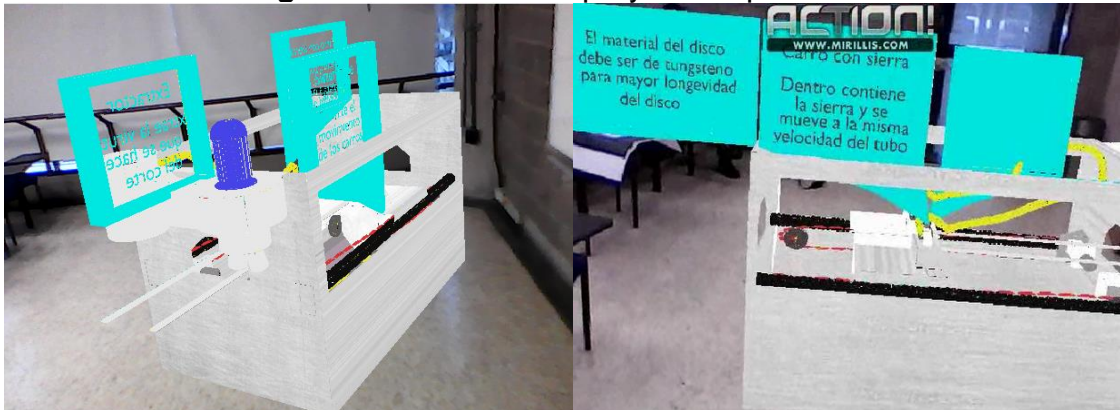
**Figura 157.** Prueba #1 proyección para carro de arrastre.



**Fuente.** Propia del autor.

La Figura 158, muestra la proyección del perfil frontal y derecho de la sierra con las pantallas de ayuda, en un ambiente de intensidad de iluminación media con una distancia de 5.8 metros entre cámara y marcador.

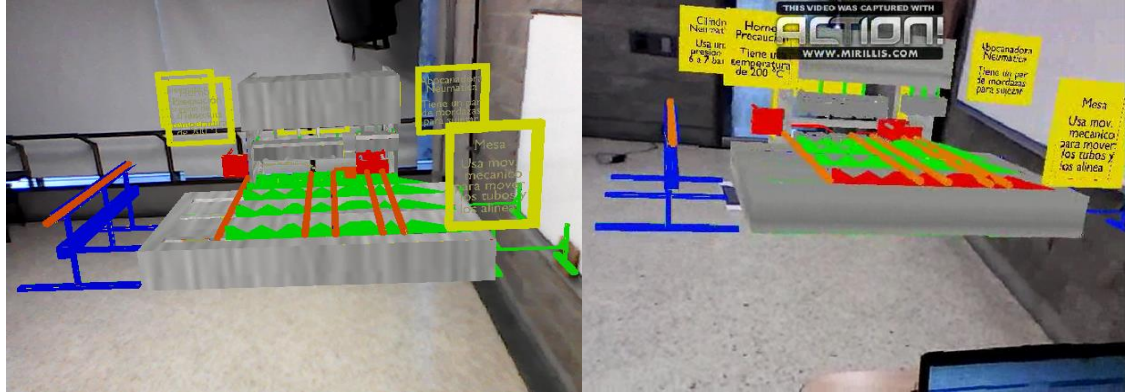
**Figura 158.** Prueba #1 proyección para sierra.



**Fuente.** Propia del autor.

La Figura 159, muestra la proyección del perfil frontal e izquierdo de la acampanadora con las pantallas de ayuda, en un ambiente de intensidad de iluminación media con una distancia de 5.8 metros entre cámara y marcador.

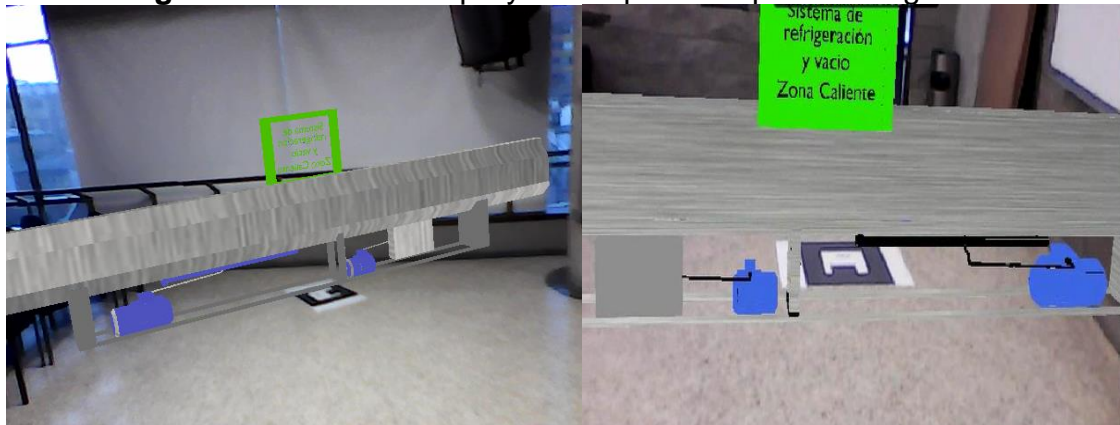
**Figura 159.** Prueba #1 proyección para acampanadora.



**Fuente.** Propia del autor.

La Figura 160, muestra la proyección del perfil frontal e izquierdo del tanque de refrigeración, con las pantallas de ayuda, en un ambiente de intensidad de iluminación media con una distancia de 5.8 metros entre cámara y marcador.

**Figura 160.** Prueba #1 proyección para tanque de refrigeración.



**Fuente.** Propia del autor.

Se observa en las Figuras 156 a la 160, los resultados obtenidos en la proyección de las máquinas para capacitación del personal, con una distancia entre el marcador y cámara de 4.27 metros de acuerdo a las información presentada en la Tabla 11, distancia mínima para que al ser proyectadas puedan observarse en su totalidad junto con las pantallas de información para la capacitación.

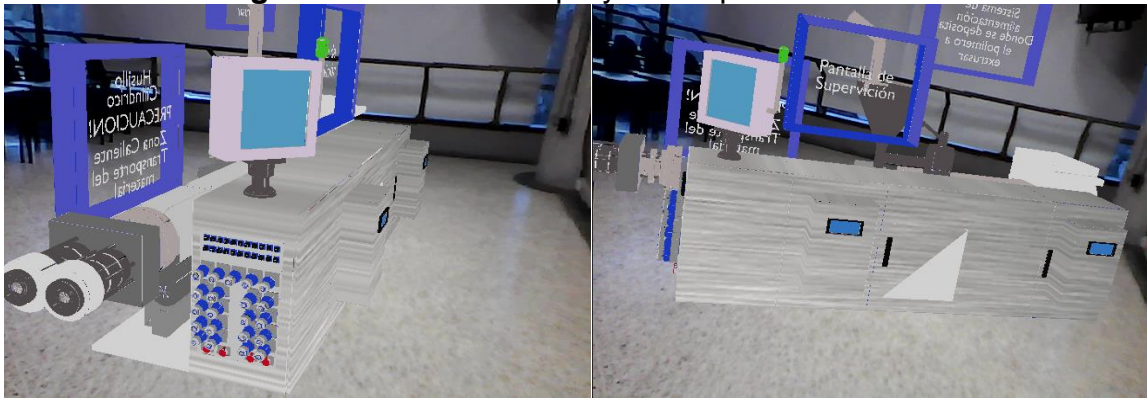
**Tabla 11.** Datos para prueba #2 de proyección de máquinas.

Prueba # 2. Distancia Mínima	Distancia A (m)	Distancia B (m)	Distancia marcador- cámara (m)	Luminosidad
	4.255	0.46	4.27	Media

**Fuente.** Propia del Autor.

La Figura 161, muestra la proyección del perfil frontal e izquierdo de la extrusora, con las pantallas de ayuda, en un ambiente de intensidad de iluminación media con una distancia de 4.27 metros entre cámara y marcador.

**Figura 161.** Prueba #2 proyección para extrusora.

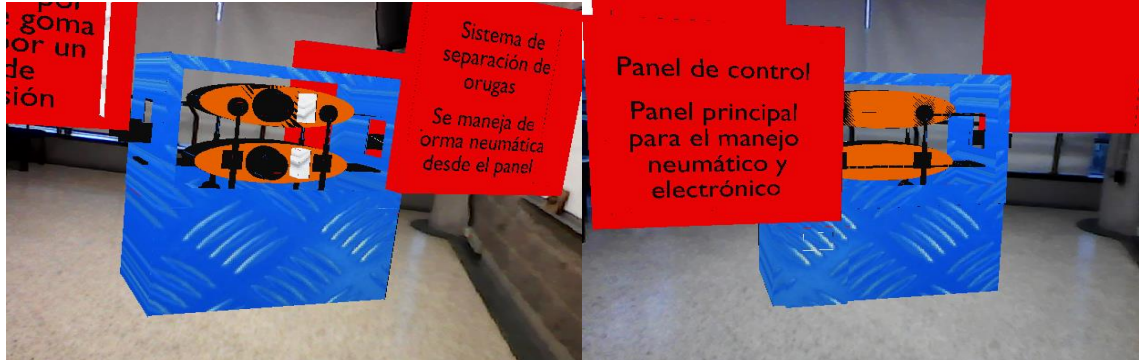


**Fuente.** Propia del autor.

La Figura 162, muestra la proyección del perfil derecho e izquierdo del carro de arrastre, con las pantallas de ayuda, en un ambiente de intensidad de iluminación media con una distancia de 4.27 metros entre cámara y marcador.



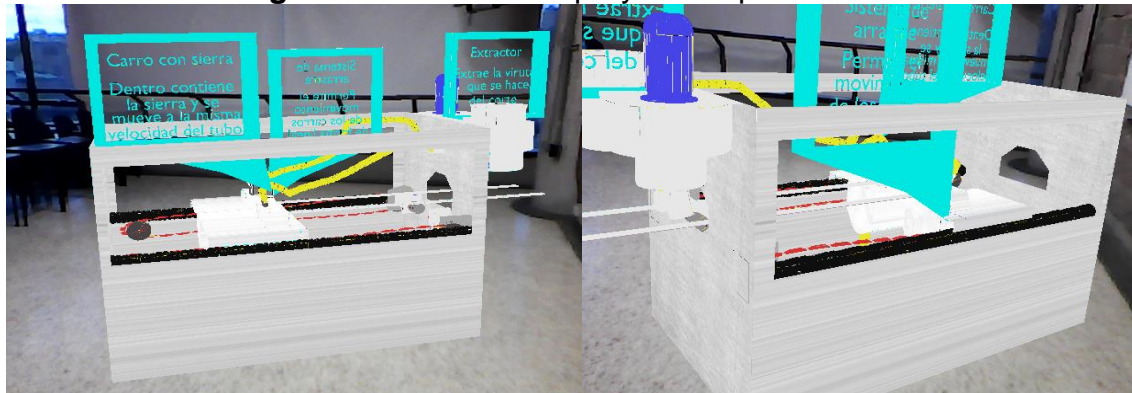
**Figura 162.** Prueba #2 proyección para carro de arrastre.



**Fuente.** Propia del autor.

La Figura 163, muestra la proyección del perfil derecho e izquierdo de la sierra, con las pantallas de ayuda, en un ambiente de intensidad de iluminación media con una distancia de 4.27 metros entre cámara y marcador.

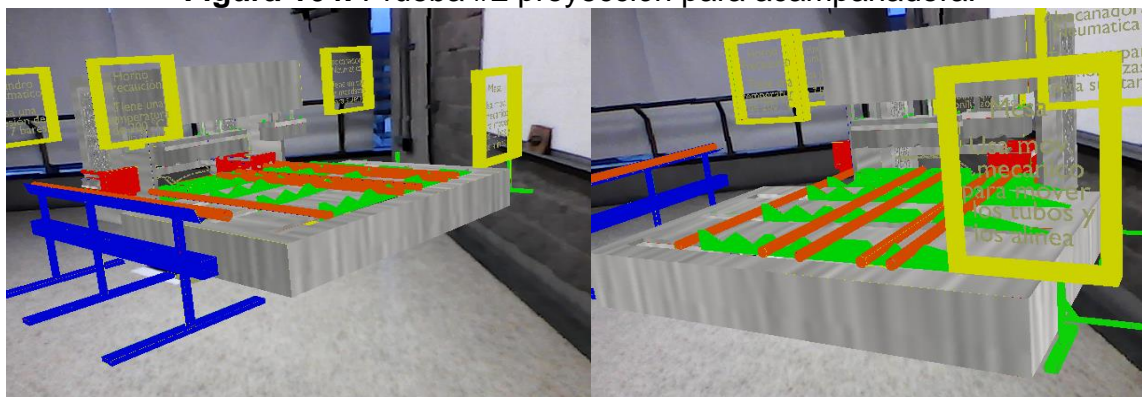
**Figura 163.** Prueba #2 proyección para sierra.



**Fuente.** Propia del autor.

La Figura 164, muestra la proyección del perfil derecho e izquierdo de la acampanadora, con las pantallas de ayuda, en un ambiente de intensidad de iluminación media con una distancia de 4.27 metros entre cámara y marcador.

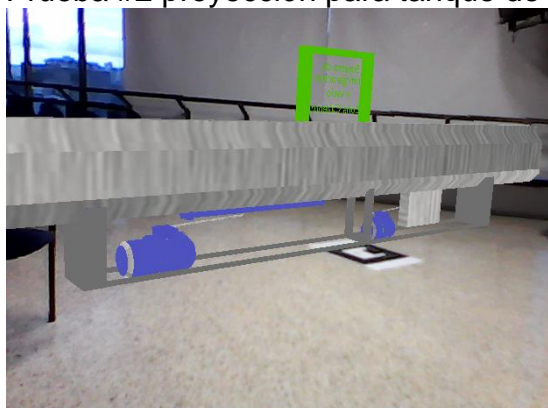
**Figura 164.** Prueba #2 proyección para acampanadora.



**Fuente.** Propia del autor.

La Figura 165, muestra la proyección del perfil izquierdo del tanque de refrigeración, con las pantallas de ayuda, en un ambiente de intensidad de iluminación media con una distancia de 4.27 metros entre cámara y marcador.

**Figura 165.** Prueba #2 proyección para tanque de refrigeración.



**Fuente.** Propia del autor.

### **Proyección de Animación para visualización general de las máquinas**

En la Tabla 12 se muestra la validación de la animación de la opción *máquinas/máquina* de la aplicación de realidad aumentada (véase *capítulo 5. Diseño de interfaz gráfica*) busca demostrar que la secuencia recorrida corresponda con la planteada (giro de 360 grados para la visualización total de la máquina) y para ello se han capturado cuatro cuadros que muestran la secuencia del giro.

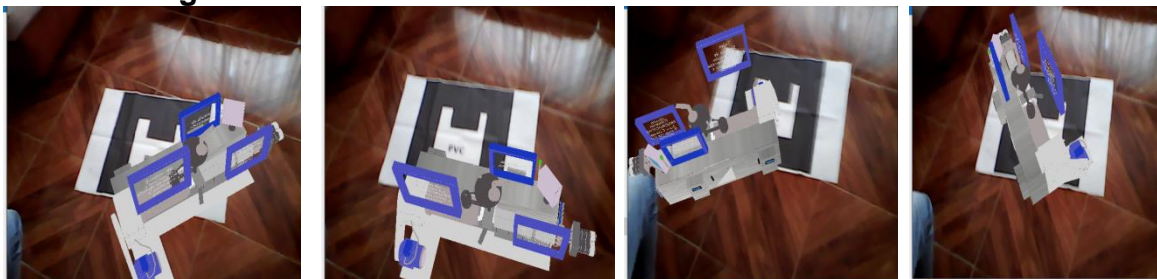
**Tabla 12.** Datos para validación de animación.

Prueba de animación	Distancia			Luminosidad
	A (m)	B (m)	marcador-cámara (m)	
	1	1.30	1.64	Media

**Fuente.** Propia del autor.

Se observa para las secuencias de las cinco máquinas, de las Figuras 166 a la 170, que el primer cuadro corresponde a la posición inicial en un Angulo entre los 45 y 90 grados, si se dibujan dos ejes imaginarios de referencia, a lo largo y ancho del marcador y que pasen a la mitad de este. En el segundo cuadro de las cuatros figuras se expone un desplazamiento en sentido de las manecillas del reloj, secuencia que continua en los dos ultimo cuadros, donde el último muestra que la posición final del giro es cercana a la posición inicial.

**Figura 166.** Secuencia de animación en RA de la extrusora.



**Fuente.** Propia del autor.

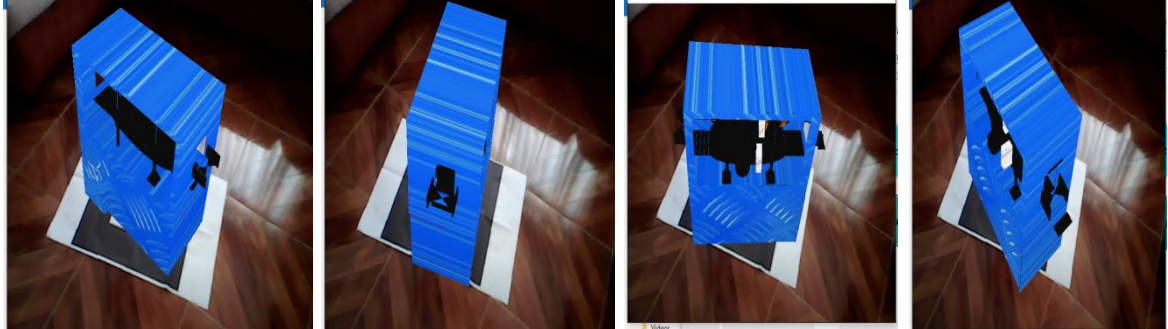
**Figura 167.** Secuencia de animación en RA del Tanque de refrigeración



**Fuente.** Propia del autor.

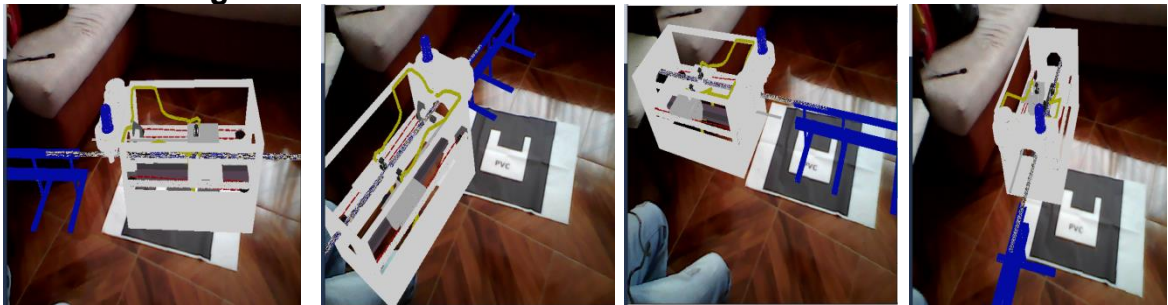


**Figura 168.** Secuencia de animación en RA del carro de arrastre.



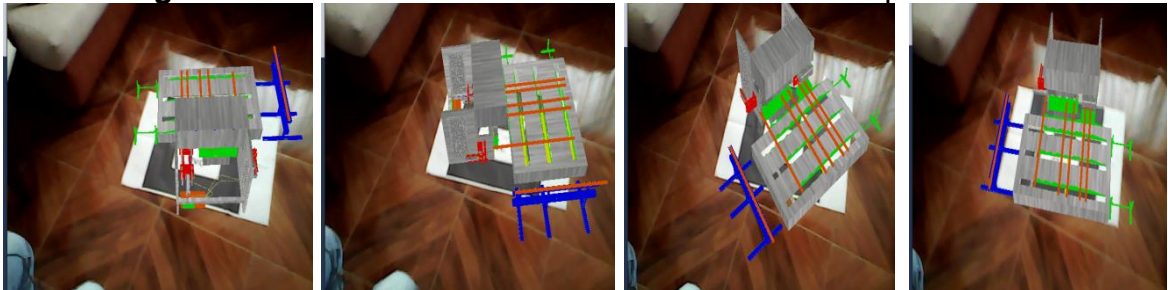
**Fuente.** Propia del autor.

**Figura 169.** Secuencia de animación en RA de la sierra



**Fuente.** Propia del autor.

**Figura 170.** Secuencia de animación en RA de Acampanadora.



**Fuente.** Propia del autor.

Los resultados obtenidos son satisfactorios, ya que como primera medida, la intensidad de luz de la escena, permitió el reconocimiento optimo del marcador para la proyección de cada máquina; igualmente la distancia fue apropiada para la proyección total de la geometría de cada estructura, situación que facilita detallar las piezas; así mismo la proyección de la animación fue optima, ya que al igual que en el caso anterior, la intensidad de luz fue la adecuada para proyectar la secuencia de animación, con la que se pretende observar todos los perfiles de cada máquina.



## 7 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Este apartado resume los resultados obtenidos y los trabajos futuros que se desean llevar a cabo para la aplicación, para hacerla una herramienta con mayores posibilidades dentro de la industria.

### 7.1 CONCLUSIONES

- El trabajo presenta el desarrollo de una aplicación de realidad aumentada como herramienta de capacitación, diseño y planeación, que es capaz de visualizar modificaciones en una línea de extrusión de PVC, haciendo uso de la realidad aumentada. El objetivo fue alcanzado por medio del modelamiento virtual de las máquinas de una línea de extrusión de PVC en el programa multi-informático Blender; la implementación de algoritmos en el lenguaje de programación C++ con las librerías de ARToolKit y el desarrollo de una interfaz gráfica amigable con el usuario.
- Los diseños de componentes y piezas de cada máquina de extrusión de PVC implementados con un programa CAD, fue óptimo, ya que los prototipos virtuales correspondieron en forma a los modelos reales de acuerdo a los resultados obtenidos en la validación.
- El desarrollo del modelamiento matemático de las transformaciones geométricas permitieron comprender el comportamiento interno de las funciones de ARToolKit en relación a la posición y orientación de cada máquina respecto a la orientación y posición del marcador, ajustando la cámara virtual a la real para proyectar un objeto 3D con orientación y posición deseada.
- Las herramientas de modelamiento y animación del programa multi-informático *BLENDER*, permitieron la recreación óptima del proceso de fabricación de tubería PVC, asemejándolo al proceso real para la producción de tubos.
- La implementación del algoritmo de programación cumplió con los requisitos funcionales de la aplicación, permitiendo el adecuado funcionamiento para la proyección de las máquinas con realidad aumentada.

- El reconocimiento del marcador fue adecuado en ambientes de baja intensidad lumínica, ya que para la detección de marcas la iluminación es un factor importante que debe ser estable y que además realce las características de la escena, ya que ambientes con alta intensidad de iluminación proporcionan bajos contrastes, sombras y brillos molestos que impiden la detección.

## **7.2 TRABAJOS FUTUROS**

- Implementar la aplicación de realidad aumentada como herramienta de capacitación, diseño y planeación en dispositivos móviles, utilizando las librerías de ARToolKit diseñada para plataformas de Android o iOS.
- Implementar la aplicación de realidad aumentada como herramienta de capacitación, diseño y planeación como instrumento educativo en colegios y universidades.
- Consolidar junto con la tecnología de realidad virtual la aplicación para que el usuario pueda interactuar con elementos virtuales en tiempo real, haciendo la experiencia más dinámica junto con la implementación de un casco HMD implementando sonidos.

## REFERENCIAS

1. Ing. Perez Gosende Pablo Alberto, metodologías para la resolución de distribución en planta [online]. Departamento de ingeniería industrial. [En línea] URL:<http://www.monografias.com/trabajos65/resolucion-distribucion-planta/resolucion-distribucion-planta2.shtml>
2. Que es el Retrofit y Retrofitting, [online]. . [En línea] URL:<http://www.solomantenimiento.com/articulos/Retrofit-Retrofitting.htm>
3. Sandra Reyes, BMW con realidad aumentada [online]. Emiliusvgs, 4 mayo 2014 [citado: 17 agosto 2014] [En línea] URL:<http://emiliusvgs.com/2014/05/04/bmw-presenta-prototipo-auto-realidad-aumentada/>
4. Metal Actual, Repotenciación de maquinaria: alternativa tecnica y economicamente viable. [En línea] URL: [http://www.metalactual.com/revista/23/maquinaria\\_repotenciacion.pdf](http://www.metalactual.com/revista/23/maquinaria_repotenciacion.pdf)
5. Alibaba, extrusoras de plastico. [online] [En línea] URL: [http://www.alibaba.com/premium/extrusoras\\_de\\_plastico.html?uptime=20150816&ptsid=1012000105912279&crea=81219961084&plac=&netw=g&device=c&ptscode=0110202010010001](http://www.alibaba.com/premium/extrusoras_de_plastico.html?uptime=20150816&ptsid=1012000105912279&crea=81219961084&plac=&netw=g&device=c&ptscode=0110202010010001)
6. Ministerio de trabajo, proteccion en riesgos laborales, mas que una obligacion una necesidad. [online] . Mintrabajo, 28 de Febrero de 2014. [En línea] URL: <http://www.mintrabajo.gov.co/febrero-2014/3065-la-proteccion-en-riesgos-laborales-mas-que-una-obligacion-una-necesidad.html>
7. Galan, Maria Sanchez. Tecno y Ciencia. [online] 15 de Enero de 2014. [Citado el: 15 de Agosto de 2015.] [En línea] URL: <http://tecnoyciencia.com/2014/a-traves-del-espejo-realidad-aumentada>.
8. Avances del celular. [online] [Citado el: 10 de Agosto de 2015.] [En línea] URL: <http://www.avancesdelcelular.weebly.com/historia.html>
9. Proyecto rehabilit-AR. [online] [Citado el: 8 de Agosto de 2015.] [En línea] URL: <https://rehabilitar.wordpress.com/2010/12/22/ARToolKit/>
10. Mendiola, Jose. engadget. [online] 12 de Agosto de 2013. [Citado el: 3 de Agosto de 2015.] [En línea] URL:

<http://es.engadget.com/2013/08/12/audi-a3-realidad-aumentada-ekurzinfo/>

11. Rus, Cristian. Applesencia. [online] 13 de Agosto de 2013. [Citado el: 5 de Agosto de 2015.] [En línea] URL: <http://applesencia.com/2013/08/ekurzinfo-app-realidad-aumentada>
12. Press BMW Group. [online] [En línea] 20 de Abril de 2014. [https://www.press.bmwgroup.com/usa/pressDetail.html?title=bmw-vision-future-luxury&outputChannelId=9&id=T0178150EN\\_US&left\\_menu\\_item=node\\_4314](https://www.press.bmwgroup.com/usa/pressDetail.html?title=bmw-vision-future-luxury&outputChannelId=9&id=T0178150EN_US&left_menu_item=node_4314).
13. 20 minutos. [Online] 30 de Marzo de 2011. [Citado el: 03 de Agosto de 2015.] [En línea] URL: <http://www.20minutos.es/noticia/1005331/0/>
14. Main.con. [En línea] [Citado el: 08 de Agosto de 2015.] [En línea] URL: <https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=8&cad=rja&uact=8&ved=0CDkQFjAHahUKEwie9sKZmsDHAhVEXh4KHZ0rCOY&url=http%3A%2F%2Fwww.mainconproject.eu%2Fdescargaarchivo.PHP%3Furl%3Ddescarga%2FDOWN4e5cc3778255a.pdf&ei=oULaVd6hDsS8eZ3XoLAO&usS>
15. Juan Jose Barrera, Jose Nieto, Gracia Basilio Alejandro Vazquez. [En línea] 13 de Diciembre de 2013. [Citado el: 11 de Agosto de 2015.] [En línea] URL: <http://www.google.com/patents/WO2013186413A1?cl=es>
16. Visuartech. [En línea] [Citado el: 10 de Agosto de 2015.] [En línea] URL: <http://www.visuartech.com/>
17. Xataka. [En línea] 10 de Abril de 2015. [En línea] URL: <http://www.xataka.com/automovil/mini-quiere-que-conduzcas-con-gafas-de-realidad-aumentada>
18. Otero, Marina. Suite 101. [En línea] 2011. [En línea] URL: [http://suite101.net/article/realidad-aumentada-la-hibridacion-del-mundo-real-y-el-virtual-a35886#.VeTtUPZ\\_Oko](http://suite101.net/article/realidad-aumentada-la-hibridacion-del-mundo-real-y-el-virtual-a35886#.VeTtUPZ_Oko).
19. Realidad Aumentada. [En línea] [En línea] URL: <http://www.it.uc3m.es/jvillena/irc/practicas/10-11/13mem.pdf>

20. PLMAutomation. [En línea] 2015. [En línea] URL: [http://www.plm.automation.siemens.com/es\\_sa/plm/cad.shtml](http://www.plm.automation.siemens.com/es_sa/plm/cad.shtml)
21. Blender3D. [En línea] [En línea] URL: <http://Blender3D.es/>
22. Blender. Animación básica de objetos. [En línea] URL: [https://wiki.Blender.org/index.PHP/Doc:ES/2.4/Books/Essential\\_Blender/03.3.Object\\_Animation\\_Basics](https://wiki.Blender.org/index.PHP/Doc:ES/2.4/Books/Essential_Blender/03.3.Object_Animation_Basics)
23. Digital, Animación. Tipos de animación. [En línea] 2011. [En línea] URL: <http://animaciontoonboom.webnode.com.co/historia-de-la-animacion/tipos-de-animacion/>
24. Educación, Blender : 3D en la. Renderizado. [En línea] Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado. [En línea] URL: <http://www.ite.educacion.es/formacion/materiales/181/cd/m2/renderizado.html>
25. Taringa. [En línea] 2011. [En línea] URL: <http://www.taringa.net/post/mac/9799063/Realidad-Aumentada.html>
26. Ecured. [En línea] URL: <http://www.ecured.cu/C%2B%2B>
27. Ecured. [En línea] *Lenguaje de programación sharp*. [En línea] URL: [http://www.ecured.cu/Lenguaje\\_de\\_Programaci%C3%B3n\\_C\\_Sharp](http://www.ecured.cu/Lenguaje_de_Programaci%C3%B3n_C_Sharp)
28. Tutorial de python. [En línea] septiembre de 2009. [En línea] URL: <http://docs.python.org.ar/tutorial/pdfs/TutorialPython2.pdf>
29. Introducción al lenguaje de programación Java. [En línea] noviembre de 2014. [En línea] URL: <http://www3.uji.es/~belfern/pdidoc/IX26/Documentos/introJava.pdf>
30. PHP. [En línea] [En línea] URL: <http://PHP.net/manual/es/intro-what-is.PHP>.
31. Ruby. [En línea] [En línea] URL: <https://www.ruby-lang.org/es/about/>.
32. Microsoft. Introducción a Visual Studio. [En línea] [En línea] URL: [https://msdn.Microsoft.com/es-co/library/aa291755\(v=vs.71\).aspx](https://msdn.Microsoft.com/es-co/library/aa291755(v=vs.71).aspx).

33. Ecured. *Lenguaje de programación F sharp*. [En línea]  
URL:[http://www.ecured.cu/Lenguaje\\_de\\_Programaci%C3%B3n\\_F\\_Sharp](http://www.ecured.cu/Lenguaje_de_Programaci%C3%B3n_F_Sharp)  
.
34. MBI. *Fabricación de PVC*[En línea]  
URL:[http://www.mbica.com/fabricacion\\_PVC.html](http://www.mbica.com/fabricacion_PVC.html).
35. Guías empresariales. *Flujo de proceso productivo y escalas de producción*. [En línea]  
URL:<http://www.contactopyme.gob.mx/guiasempresariales/guias.asp?s=14&guia=104&giro=10&ins=985>.
36. Beltrán, M. Tecnología de polímeros. *Extrusión*. [En línea]  
URL:<http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>.
37. Miguel Aparicio, David Loaeza. Diseño y puesta en marcha de un carro de arrastre para una máquina de extrusión. [En línea] septiembre de 2012. [En línea]  
URL:[http://somim.org.mx/articulos2010/memorias/memorias2012/articulos/pdfs/A1/A1\\_216.pdf](http://somim.org.mx/articulos2010/memorias/memorias2012/articulos/pdfs/A1/A1_216.pdf) .
38. Alcaldía de Bogotá. Código sustantivo del trabajo. [En línea]  
URL:<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=33104>  
.
39. Ministerio de trabajo y seguridad social. [En línea]  
URL:<http://www.ilo.org/dyn/travail/docs/1509/industrial%20safety%20statute.pdf>
40. Alcaldía de Bogotá. *Bogotá Jurídica digital*. [En línea] URL:  
<http://www.alcaldiabogota.gov.co/>
41. ICONTEC. Norma Técnica Colombiana. *Higiene y seguridad, sistema de señales contra incendios, instalación, mantenimiento y usos*[En línea]  
URL:<http://docplayer.es/3236071-Norma-tecnica-colombiana-1867.html>.
42. Negociaciones comerciales multilaterales. [En línea]  
URL:[http://www.mintic.gov.co/portal/604/articles-15190\\_documento.pdf](http://www.mintic.gov.co/portal/604/articles-15190_documento.pdf).
43. Cabezas, Kevin. Trucos 3D en Blender. [En línea] 2007. [En línea] URL:  
<http://trucos-3D.blogspot.com.co/2007/02/aadir-de-un-archivo-blend-otro-blend.html>.

44. Roosenda, Tom. Manual de Blender. [En línea]  
URL:[http://www.futureworkss.com/tecnologicos/informatica/tutoriales/Manual\\_de\\_Blender.pdf](http://www.futureworkss.com/tecnologicos/informatica/tutoriales/Manual_de_Blender.pdf).
45. Blender. Overview of the Video Sequence Editor Window. [En línea]  
URL:<https://wiki.Blender.org/index.PHP/Doc:2.4/Manual/Sequencer/Usage>.
46. Mapeado UV. [En línea]  
URL:[https://wiki.Blender.org/index.PHP/Doc:ES/2.4/Manual/Textures/UV/Unwrapping\\_a\\_Mesh](https://wiki.Blender.org/index.PHP/Doc:ES/2.4/Manual/Textures/UV/Unwrapping_a_Mesh).
47. Gameartist. Fundamentos del mapeado UV. [En línea] diciembre de 2014.  
[En línea] URL:<http://www.gameartist.cl/curso-game-art/fundamentos-del-mapeado-uv/>.
48. morcillo, C. Mapas UV. [En línea]  
URL:<http://www.esi.uclm.es/www/cglez/fundamentos3D/03.09.UV.html>.
49. online, Visión. La visión artificial y su influencia en España . [En línea]  
URL:<http://www.visiononline.es/es/actualidad-en-vision-artificial/la-vision-artificial-y-su-influencia-en-espana>.
50. Platero, Carlos. Introducción a la visión artificial. [En línea] 2009. [En línea]  
URL:[http://www.elai.upm.es/webantigua/spain/Asignaturas/MIP\\_VisionArtificial/ApuntesVA/cap1IntroVA.pdf](http://www.elai.upm.es/webantigua/spain/Asignaturas/MIP_VisionArtificial/ApuntesVA/cap1IntroVA.pdf).
51. Zemansky, Sears. *Física universitaria* .
52. ADAMS, Annette. BALDSZHUN, Annette. HOHIFELD Frank. *El asombroso cuerpo humano* . s.l. : Readers Digitest, 1998.
53. Ambuldi, Romina. Anatomía del ojo humano. [En línea] 2012. [En línea]  
URL:<http://rominambuludi.blogspot.com.co/2012/11/anatomia-del-ojo-humano.html>.
54. flex, Que cámara. Como funciona el sensor de una cámara digital. [En línea] 2015. [En línea] URL:<http://quecamarareflex.com/como-funciona-el-sensor-de-una-camara-digital/>.
55. Tecnoetail. Cámaras digitales . [En línea] 2011. [En línea]  
URL:<http://tecnoetail.blogspot.com.co/2011/05/camaras-digital.html>.

56. Flores, Dra Leticia. Tipos de imagenes digitales . [En línea] 2011. [En línea] URL:[https://aicitel.files.wordpress.com/2011/08/clase3\\_pdi.pdf](https://aicitel.files.wordpress.com/2011/08/clase3_pdi.pdf) .
57. Pinilla, C. y A.Alcala. [http://www.aet.org.es/revistas/revista8/AET8\\_5.pdf](http://www.aet.org.es/revistas/revista8/AET8_5.pdf). [En línea] Diciembre de 1997. [En línea] URL:[http://www.aet.org.es/revistas/revista8/AET8\\_5.pdf](http://www.aet.org.es/revistas/revista8/AET8_5.pdf).
58. Gonzales, Y. Aplicaciones de la visión artificial. [En línea] URL:[http://dmi.uib.es/~ygonzalez/VI/Material\\_del\\_Curso/Teoria/Aplicaciones\\_VC.PDF](http://dmi.uib.es/~ygonzalez/VI/Material_del_Curso/Teoria/Aplicaciones_VC.PDF).
59. Realidad aumentada:un enfoque practico con ARToolKit y Blender. [aut. libro] David vallejo Carlos Gonzales. *OREJ*.
60. Programación total. [En línea] Agosto de 2014. [En línea] URL <http://programacion--total.blogspot.com.co/2014/08/imagenes-ppm.html>.
61. DOCS.GL. [En línea] URL [En línea] <http://docs.gl/es2/glGenTextures>.
62. Mapeado de texturas. [En línea] [En línea] URL <http://www4.tecnun.es/asignaturas/grafcomp/OpenGL/practica/capitulo10.pdf>.
63. Especificaciones OpenGL. [En línea] [En línea] URL <https://www.OpenGL.org/sdk/docs/man2/xhtml/glTexCoord.xml>.
64. Funciones de ARToolKit. *gsub.h*. [En línea] [En línea] URL [http://ARToolKit.sourceforge.net/apidoc/gsub\\_8h.html](http://ARToolKit.sourceforge.net/apidoc/gsub_8h.html).
65. Parametros y especificacion OpenGL. [En línea] [En línea] URL <https://www.khronos.org/OpenGLES/sdk/1.1/docs/man/gliLoadMatrix.xml>.
66. Funciones de ARToolKit. *video.h*. [En línea] [En línea] URL [http://ARToolKit.sourceforge.net/apidoc/video\\_8h.html](http://ARToolKit.sourceforge.net/apidoc/video_8h.html).
67. Funciones de ARToolKit. *Ar.h*. [En línea] [En línea] URL [http://ARToolKit.sourceforge.net/apidoc/ar\\_8h.html](http://ARToolKit.sourceforge.net/apidoc/ar_8h.html).
68. [En línea] [En línea] URL <http://www.it.uc3m.es/jvillena/irc/practicas/10-11/13mem.pdf>.
69. Retro Informatica. [En línea] [Citado el: 22 de Agosto de 2015.] [En línea] URL <http://www.fib.upc.edu/retro-informatica/avui/realitatvirtual.html>.



**70.** Instituto Nacional del Emprendedor. [En línea] 31 de Agosto de 2011. [En línea] URL  
<http://www.contactopyme.gob.mx/guiasempresariales/guias.asp?s=14&guia=104&giro=10&ins=985>.

## ANEXO A. TUTORIAL DE INSTALACION DE ARTOOLKIT Y OPENGL

### Instalando ARToolKit

La ubicación de los archivos es relativa de acuerdo a las preferencias de cada persona.

1. Descargar el archivo comprimido mostrado en la Figura 1, que contiene ARToolKit y otras librerías. Link de descarga

<http://www.mediafire.com/download/oud3j4ozybnuyqf/work.rar>

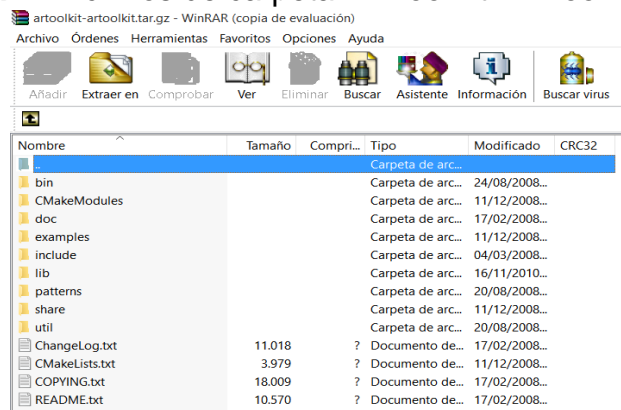
**Figura 1.** Archivo comprimido (ARToolKit y otras librerías).

ARToolKit-2.72.1-bin-win32.zip	23/10/2011 8:52 p...	Archivo WinRAR ZIP	8.996 KB
artoolkit-artoolkit.tar.gz	23/10/2011 8:52 p...	Archivo WinRAR	3.417 KB
Bibliotecas OpenGL.rar	23/10/2011 4:13 p...	Archivo WinRAR	397 KB
DSVL-0.0.8b.zip	23/10/2011 8:52 p...	Archivo WinRAR ZIP	2.633 KB
IMP DLLs.rar	16/08/2013 10:13 ...	Archivo WinRAR	428 KB
libs.zip	23/10/2011 9:22 p...	Archivo WinRAR ZIP	212 KB
msvc71d.zip	23/10/2011 8:53 p...	Archivo WinRAR ZIP	177 KB
msvc71d.zip	23/10/2011 8:53 p...	Archivo WinRAR ZIP	226 KB
OpenVRML-0.14.3-win32.zip	23/10/2011 9:24 p...	Archivo WinRAR ZIP	11.106 KB

**Fuente.** Propia del autor.

2. Descomprima el archivo ARToolKit-2.72.1-bin-win32.zip en el disco local del equipo (/C:). A continuación copie todos los archivos de ARToolKit-ARToolKit.tar.gz dentro de la carpeta de ARToolKit-2.72.1-bin-win32 (archivo descomprimido en el disco local) los cuales se muestran en la Figura 2.

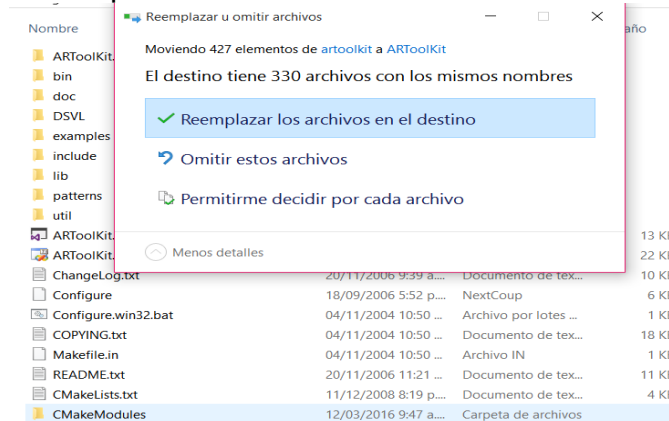
**Figura 2.** Archivos de carpeta ARToolKit-ARToolKit.tar.gz



**Fuente.** Propia del autor.

3. Luego se reemplazan todos los archivos en el destino, como se muestra en la Figura 3.

**Figura 3.** Copiar Archivos de carpeta ARToolKit-ARToolKit.tar.gz en la carpeta de ARToolKit-2.72.1-bin-win32.



**Fuente.** Propia del autor.

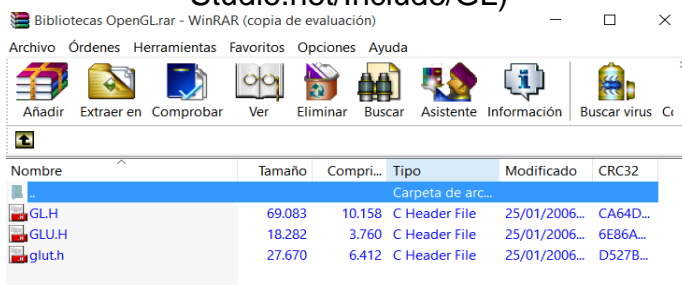
4. En la carpeta Bibliotecas OpenGL copie los archivos glu32.dll, glut32.dll y OpenGL32.dll y peguelos en la carpeta System32 del disco local. C:\Windows\System32, como se indica en la Figura 4.



**Fuente.** Propia del autor.

5. Copie los archivos GLU.h, GL.h y glut.h de la carpeta *Bibliotecas OpenGL* (Bibliotecas OpenGL/Visual Studio.net/Include/GL) En la carpeta Microsoft visual estudio (C:\Program Files (x86)\Microsoft Visual Studio 12.0\VC\include). Se reemplazan todos los archivos en el destino, así como muestra la Figura 5.

**Figura 5. Carpeta Bibliotecas OpenGL (Bibliotecas OpenGL/Visual Studio.net/Include/GL)**



**Fuente.** Propia del autor.

6. Copie y pegue la carpeta DSVL-0.0.8b.zip dentro de ARToolKit-2.72.1-bin-win32. Se rempazan todos los archivos en el destino.
7. Elimine todos los archivos la carpeta bin de ARToolKit-2.72.1-bin-win32, mostrados en la Figura 6, menos la carpeta Data y WRL. Copie los archivos de la carpeta IMP DLL que se muestran en la Figura 7 y péguela en la carpeta bin de ARToolKit. Se rempazan todos los archivos en el destino.

**Figura 6. Carpeta bin de ARToolKit-2.72.1-bin-win32**

Data	02/02/2007 12:12 ...	Carpeta de archivos	
Wrl	02/02/2007 12:12 ...	Carpeta de archivos	
calib_camera2.exe	03/04/2007 3:15 p....	Aplicación	104 KB
calib_camera2d.exe	03/04/2007 3:16 p....	Aplicación	300 KB
calib_cparam.exe	03/04/2007 3:15 p....	Aplicación	76 KB
calib_cparamd.exe	03/04/2007 3:16 p....	Aplicación	268 KB
calib_dist.exe	03/04/2007 3:15 p....	Aplicación	80 KB
calib_distd.exe	03/04/2007 3:16 p....	Aplicación	256 KB
collideTest.exe	03/04/2007 3:14 p....	Aplicación	116 KB
collideTestd.exe	03/04/2007 3:15 p....	Aplicación	324 KB
DSVL.dll	17/05/2005 7:33 p....	Extensión de la ap...	76 KB
DSVLd.dll	17/05/2005 7:33 p....	Extensión de la ap...	376 KB
exview.exe	03/04/2007 3:15 p....	Aplicación	116 KB
exviewd.exe	03/04/2007 3:16 p....	Aplicación	328 KB
graphicsTest.exe	03/04/2007 3:15 p....	Aplicación	60 KB
graphicsTestd.exe	03/04/2007 3:16 p....	Aplicación	256 KB
libARvideo.dll	03/04/2007 3:58 p....	Extensión de la ap...	7 KB
libARvideod.dll	03/04/2007 3:59 p....	Extensión de la ap...	29 KB
loadMultiple.exe	03/04/2007 3:14 p....	Aplicación	116 KB
loadMultiplied.exe	03/04/2007 3:15 p....	Aplicación	324 KB

**Fuente.** Propia del autor.

**Figura 7. Carpeta IMP DLL**

Nombre	Tamaño	Compri...	Tipo	Modificado	CRC32
..			Carpeta de arc...		
DSVL.dll	77.824	26.544	Extensión de l...	17/05/2005...	446AC...
DSVLd.dll	385.024	93.479	Extensión de l...	17/05/2005...	B0E70...
libARvideo.dll	10.752	4.745	Extensión de l...	21/05/2008...	785B28...
libARvideod.dll	32.768	9.595	Extensión de l...	21/05/2008...	884364...
msvc71d.dll	765.952	119.699	Extensión de l...	16/07/2005...	E6C4A...
msvcr71d.dll	544.768	183.761	Extensión de l...	15/07/2005...	9202F2...

**Fuente.** Propia del autor.

8. A continuación ejecute el archivo ARToolKit.sln, mostrado en la Figura 8, si en su caso el archivo se encuentra sin extensión, puede guiarse por el tipo de archivo el cual debe ser Microsoft Visual solution y tamaño del archivo que debe ser de 18KB. Estos datos se encuentran en las columnas de la carpeta. Con este paso los archivos borrados en el paso anterior volverán aparecer con un archivo adicional de extensión ilk.

**Figura 8. ARToolKit.sln en la carpeta de ARToolKit.**

Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
DSVL	01/03/2016 2:23 p...	Carpeta de archivos	
examples	01/03/2016 2:09 p...	Carpeta de archivos	
include	02/02/2007 12:12 ...	Carpeta de archivos	
lib	03/03/2016 4:33 p...	Carpeta de archivos	
OpenVRML	02/12/2004 11:05 ...	Carpeta de archivos	
patterns	01/03/2016 2:09 p...	Carpeta de archivos	
share	01/03/2016 2:08 p...	Carpeta de archivos	
util	01/03/2016 2:09 p...	Carpeta de archivos	
ARToolKit.dsw	12/10/2005 2:17 p...	VC++ 6 Workspace	13 KB
ARToolKitsdf	03/03/2016 4:40 p...	SQL Server Compact Edition Data...	45.952 KB
<b>ARToolKit.sln</b>	<b>02/03/2016 11:07 ...</b>	<b>Microsoft Visual Studio Solution</b>	<b>18 KB</b>
ARToolKit.v12.suo	03/03/2016 4:40 p...	Visual Studio Solution User Optio...	53 KB
ChangelLog.txt	17/02/2008 6:02 a...	Documento de texto	11 KB
CMakeLists.txt	11/12/2008 8:19 p...	Documento de texto	4 KB
Configure	18/09/2006 5:52 p...	NextCoup	6 KB
Configure.win32.bat	04/11/2004 10:50 ...	Archivo por lotes de Windows	1 KB
COPYING.txt	17/02/2008 6:02 a...	Documento de texto	18 KB
Makefile.in	04/11/2004 10:50 ...	Archivo IN	1 KB
README.txt	17/02/2008 6:02 a...	Documento de texto	11 KB
UpgradeLog.htm	01/03/2016 2:31 p...	Chrome HTML Document	829 KB

**Fuente.** Propia del autor.

9. Probando la cámara con ARToolKit en Visual Studio:

- De la carpeta bin (C:\ARToolKit\bin) se copie la carpeta Data y los archivos DSVLd.dll, DSVL.dll, libARvideo.dll, libARvideod.dll, glut32.dll, msvcp71.dll, msvcr71.dll y se pegue en la carpeta

Debug de simplelite (C:\ARToolKit\ARToolKit\examples\simpleLite\Debug). La carpeta Data se pega también en la carpeta simplelite (C:\ARToolKit\ARToolKit\examples\simpleLite).

- Se abre el archivo simplelite.vcproj (C:\ARToolKit\ARToolKit\examples\simpleLite), mostrado en la Figura 9. Si en su caso el archivo se encuentra sin extensión, puede guiarse por el tipo de archivo el cual debe ser VC C++ y tamaño del archivo que debe ser de 4KB. Estos datos se encuentran en las columnas de la carpeta tipo y tamaño.

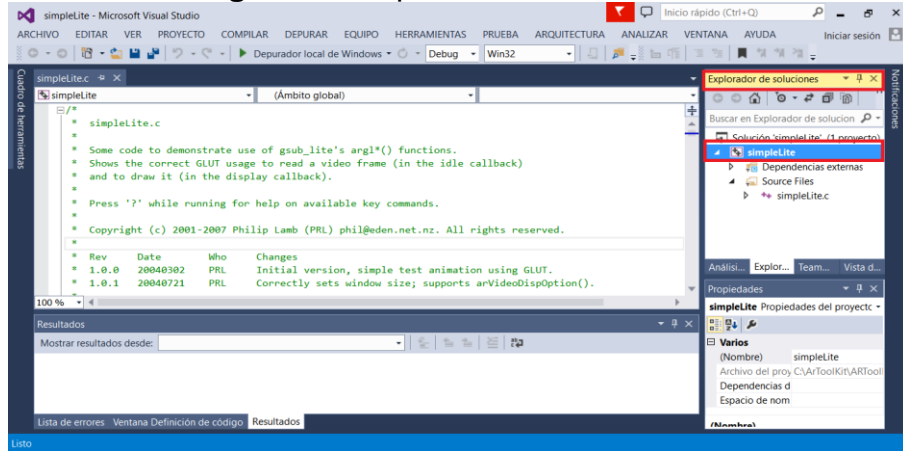
**Figura 9.** Archivo simplelite.vcproj (C:\ARToolKit\examples\simpleLite)

Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
Backup	01/03/2016 2:39 p...	Carpeta de archivos	
Backup1	12/03/2016 1:37 p...	Carpeta de archivos	
Data	01/03/2016 3:13 p...	Carpeta de archivos	
Debug	01/03/2016 3:09 p...	Carpeta de archivos	
Release	03/03/2016 2:25 p...	Carpeta de archivos	
CMakeLists.txt	20/08/2008 10:45 ...	Documento de tex...	1 KB
Makefile.in	17/02/2008 6:02 a...	Archivo IN	1 KB
simpleLite.c	17/02/2008 6:02 a...	C Source File	16 KB
simpleLite.dsp	17/02/2008 6:02 a...	VC++ 6 Project	5 KB
simpleLite.sdf	12/03/2016 1:38 p...	SQL Server Compa...	28.672 KB
simpleLite.sln	01/03/2016 3:29 p...	Microsoft Visual St...	1 KB
simpleLite.v12.suo	12/03/2016 1:38 p...	Visual Studio Solut...	13 KB
simpleLite.vcproj	17/02/2008 6:02 a...	VC++ Project	4 KB
simpleLite.vcxproj	12/03/2016 1:37 p...	VC++ Project	5 KB
simpleLite.vcxproj.filters	12/03/2016 1:37 p...	VC++ Project Filte...	1 KB
simpleLite-Info.plist	17/02/2008 6:02 a...	QuickTime Prefere...	1 KB
UpgradeLog.htm	01/03/2016 2:40 p...	Chrome HTML Do...	52 KB
UpgradeLog2.htm	12/03/2016 1:37 p...	Chrome HTML Do...	52 KB

**Fuente.** Propia del autor.

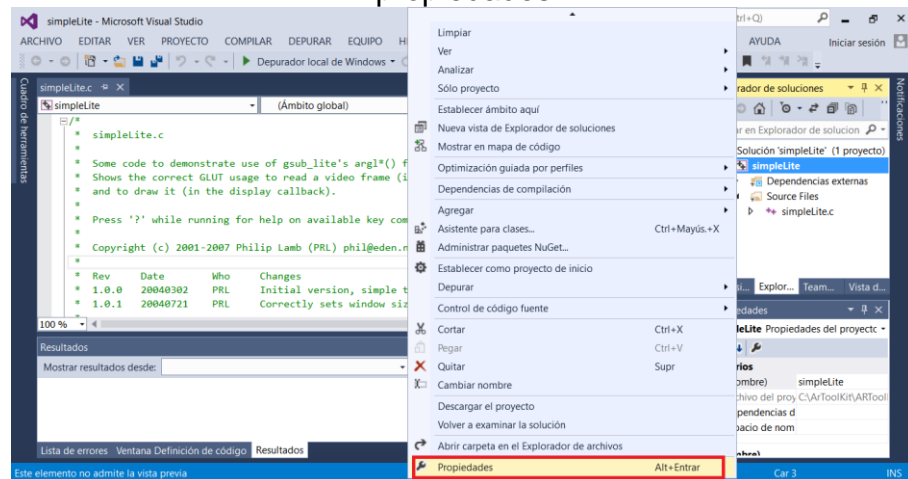
- Una vez abierto el archivo debe guardarse con extensión punto c en la misma carpeta (C:\ARToolKit\examples\simpleLite).
- En el explorador de soluciones haga clic derecho del mouse sobre la carpeta simplelite y allí mismo propiedades -> vinculador -> general -> salida de archivo, seleccione <heredar primario o valores predeterminados del proyecto> así como se indica en la Figura 10, la Figura 11 y la Figura 12. Compile el proyecto. simultáneamente se guarda el archivo con extensión sln.

**Figura 10. Explorador de soluciones**



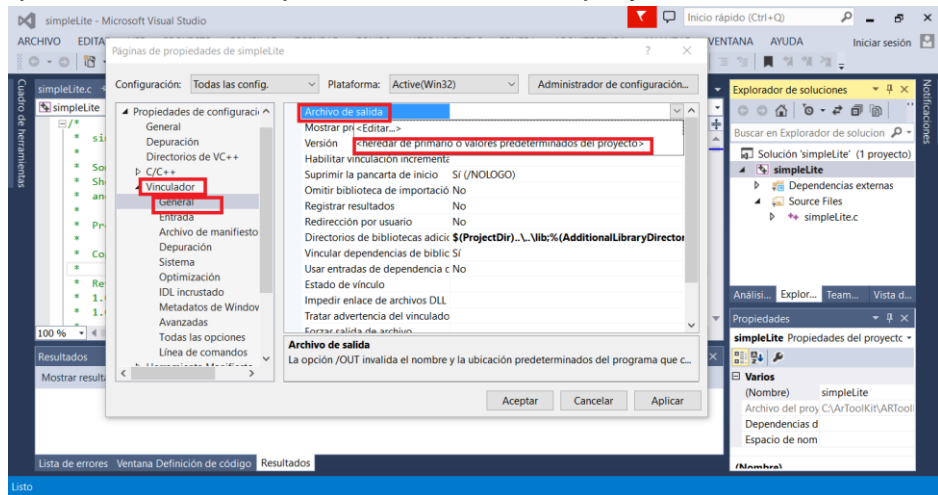
**Fuente.** Propia del autor.

**Figura 11. Clic derecho del mouse sobre la carpeta simplelite -> propiedades**



**Fuente.** Propia del autor.

**Figura 12.** Vinculador -> general -> salida de archivo, se selecciona <heredar primario o valores predeterminados del proyecto>.



**Fuente.** Propia del autor.

- Compilar y depurar el proyecto, como se muestra en la Figura 13 y la Figura 14.

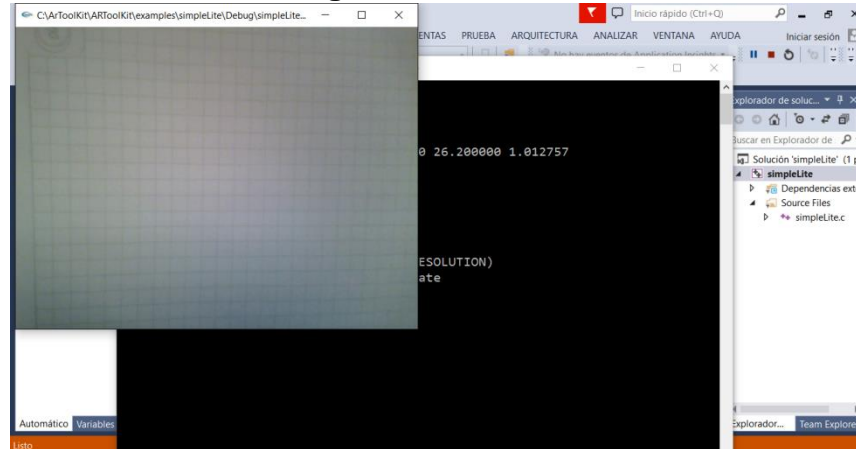
**Figura 13.** Ventana de propiedades. Seleccione Aplicar y aceptar



**Fuente.** Propia del autor.



**Figura 14. Cámara.**

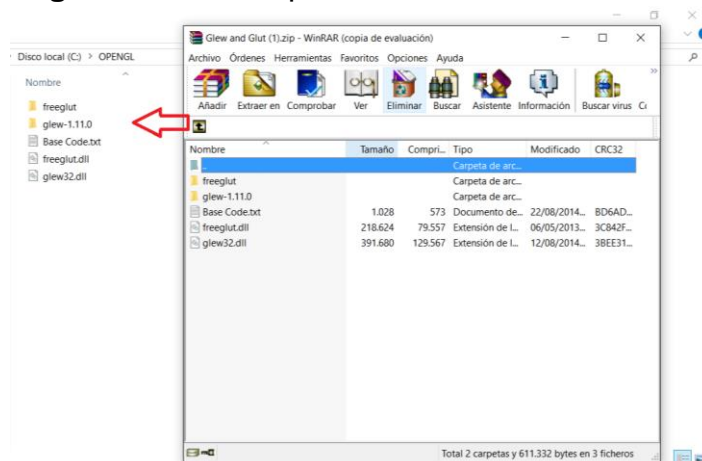


**Fuente.** Propia del autor.

## Instalando OPENGL (GLUT Y GLEW)

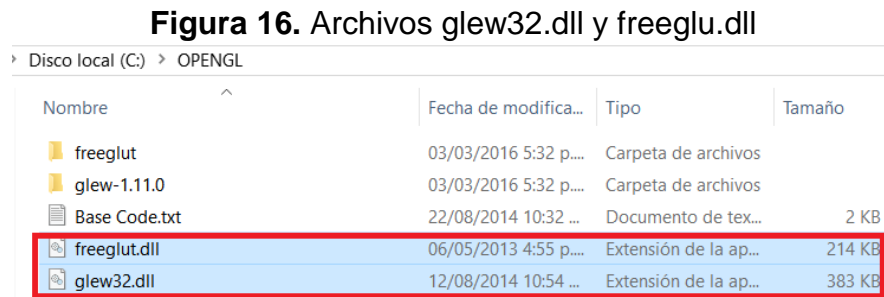
1. Link <http://www.mediafire.com/download/cmlnr0pj0pyha5d/Glew+and+Glut.zip> de descarga
2. Descomprima el archivo en una ubicación de su preferencia, como se muestra en la Figura 15.

**Figura.15** Descompresión de librerías



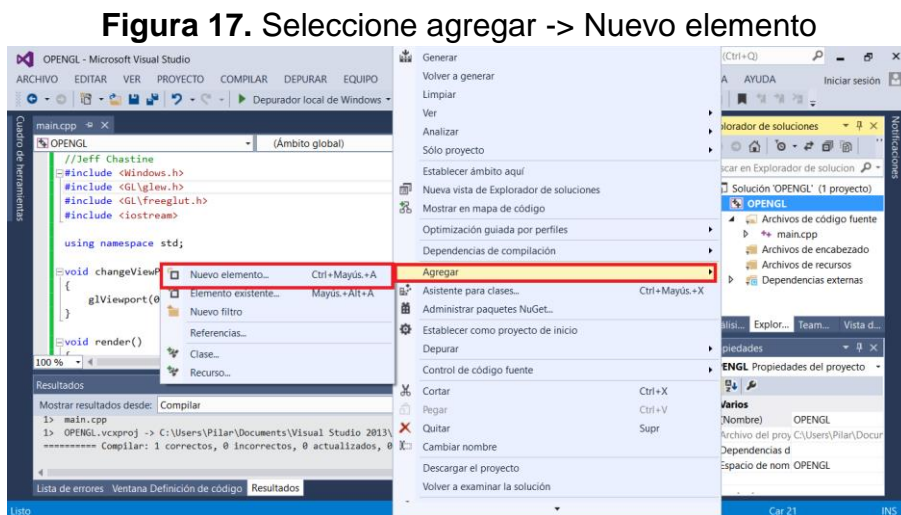
**Fuente.** Propia del autor.

3. Copie y pegue los archivos `glew32.dll` y `freeglu.dll` en la carpeta `System32` de su equipo (`C:\Windows\System32`), así como lo indica la Figura 16.



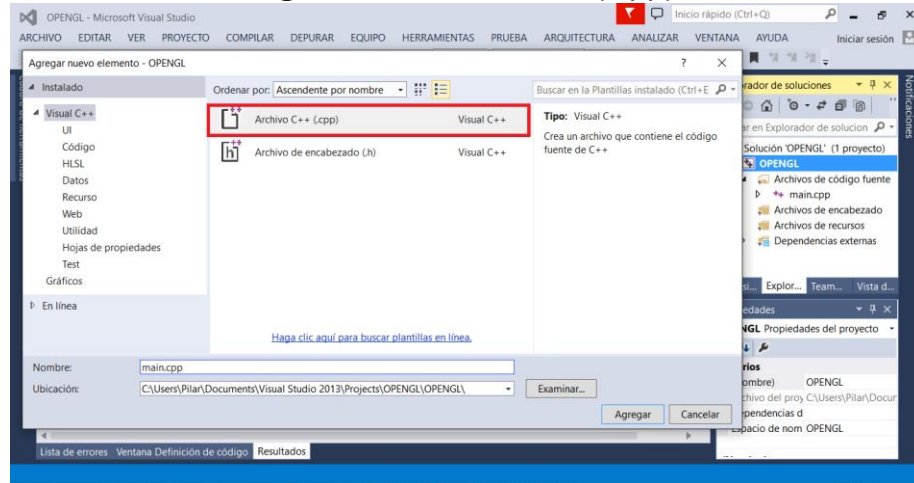
**Fuente.** Propia del autor.

4. Cree un proyecto vacío en Visual Studio como lo indica la Figura 17.
5. En el explorador de soluciones (panel a la derecha de la pantalla) haga clic derecho sobre la carpeta que ha creado (en este caso el nombre es `OPENGL`). Seleccione agregar -> Nuevo elemento -> Archivo C++ (.cpp), como se muestra en la Figura 18.



**Fuente.** Propia del autor.

**Figura 18. Archivo C++ (.cpp).**



**Fuente.** Propia del autor.

6. Copie y pegue el código que se encuentra en la carpeta de OpenGL (Base Codetext), el cual se muestra en la Figura 19.

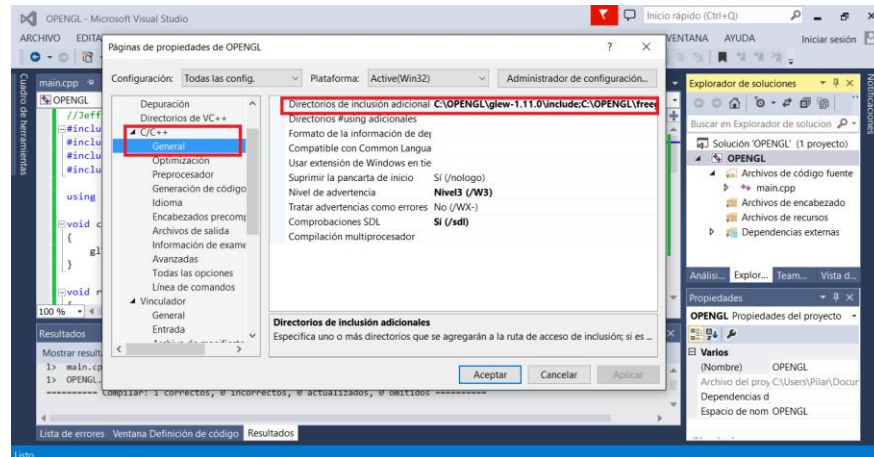
**Figura 19. Código de prueba BaseCode.txt**

Disco local (C:) > OPENG			
Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
freeglut	03/03/2016 5:32 p...	Carpeta de archivos	
glew-1.11.0	03/03/2016 5:32 p...	Carpeta de archivos	
Base Code.txt	22/08/2014 10:32 ...	Documento de tex...	2 KB
freeglut.dll	06/05/2013 4:55 p...	Extensión de la ap...	214 KB
glew32.dll	12/08/2014 10:54 ...	Extensión de la ap...	383 KB

**Fuente.** Propia del autor.

7. Así como se muestra en la Figura 20, seleccione nuevamente el explorador de soluciones y haga clic derecho sobre la carpeta y seleccione propiedades -> CC++ -> General -> directorios de inclusión adicional y agregue las carpeta de include de freeglut (C:\OPENG\freeglut\include) y glew (C:\OPENG\glew\include).

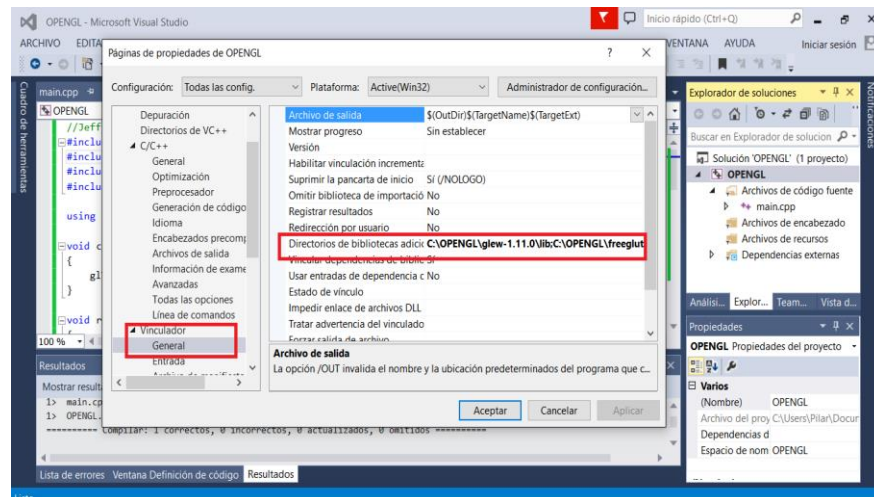
**Figura 20.** Propiedades -> CC++ -> General -> directorios de inclusión adicional.



**Fuente.** Propia del autor.

8. Luego en propiedades -> Vinculador -> Directorio de bibliotecas adicionales y agregue la carpeta lib de freeglut (C:\OPENGL\freeglut\lib) y glew (C:\OPENGL\glew\lib), como se ve en la Figura 21.

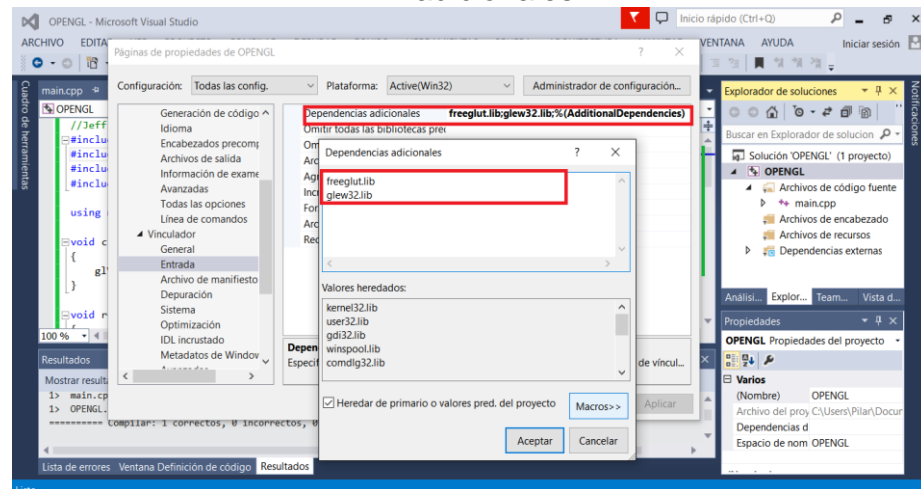
**Figura 21.** Propiedades -> Vinculador -> Directorio de bibliotecas adicionales.



**Fuente.** Propia del autor.

9. Como se indica en la Figura 22, seleccione propiedades -> vinculador -> entrada -> dependencias adicionales y agregue freeglut.lib y glew32.lib.

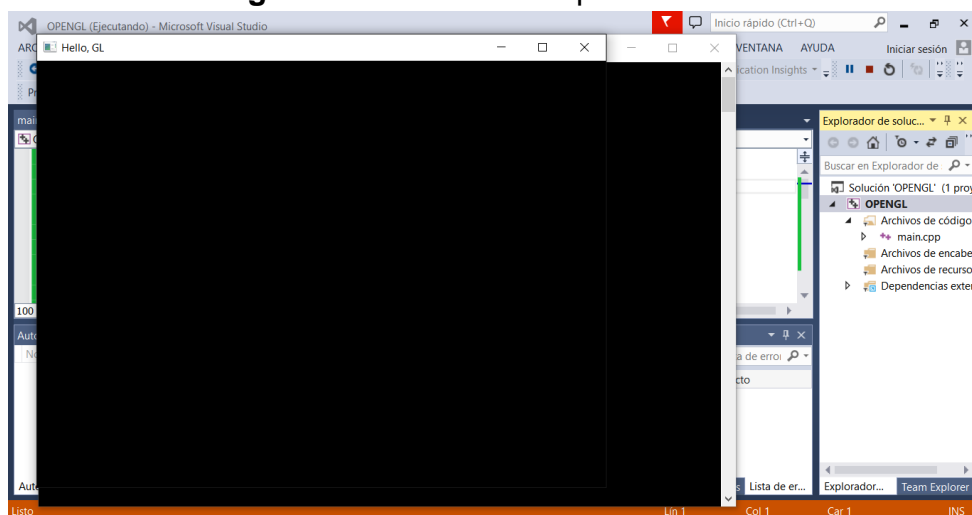
**Figura 22.** Propiedades -> vinculador -> entrada -> dependencias adicionales



**Fuente.** Propia del autor.

10. Luego como se muestra en la Figura 23, se compila y depura el programa.

**Figura 23.** Ventana de OpenGL



**Fuente.** Propia del autor.

## ANEXO B. MANUAL DE USUARIO

### BENEFICIOS

- Planificación y diseño de la ubicación o reubicación de equipos dentro de una planta de producción de extrusión de PVC para mejorar la distribución de maquinaria dentro de esta, usando como herramienta la realidad aumentada.
- Selección de maquinaria adecuada para determinado espacio y función.
- Disminución de la inversión económica en las plantas de extrusión de PVC causada por mala selección de equipos.
- Disminución de riesgos laborales por selección incorrecta de maquinaria.
- Mejoramiento de la calidad de producción a través de la actualización o mantenimiento de equipos.
- Capacitación al personal.

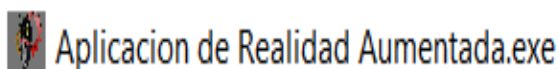
### OBJETIVO

Desarrollar una aplicación basada en realidad aumentada para visualizar las modificaciones en una línea de producción de tubos de PVC además de la adaptación para el montaje en nuevos espacios.

### INGRESO AL SISTEMA

Usted primero deberá tener la aplicación de *realidad aumentada como herramienta de capacitación, diseño y planeación en una línea de extrusión de tubería PVC* instalada en su ordenador. Hecho esto solo será pulsar sobre el icono de la aplicación para estar dentro de ella, el icono de esta se puede ver en la Figura 1.

**Figura 1.** Icono de aplicación.



**Fuente.** Propia del autor.

A continuación, como muestra la Figura 2, usted se encontrará con cuatro pestañas diferentes, que le brindaran un servicio de acuerdo a sus necesidades.

**Figura 2.**Opciones de la aplicación.



**Fuente.** Propia del autor.

## INICIO

En la pestaña inicio, la cual se ve en la Figura 3, usted podrá encontrar el logo de la aplicación y una breve descripción de la aplicación junto con un botón que le permitirá probar en funcionamiento de su marcador.

**Figura 3.**Opcion Inicio

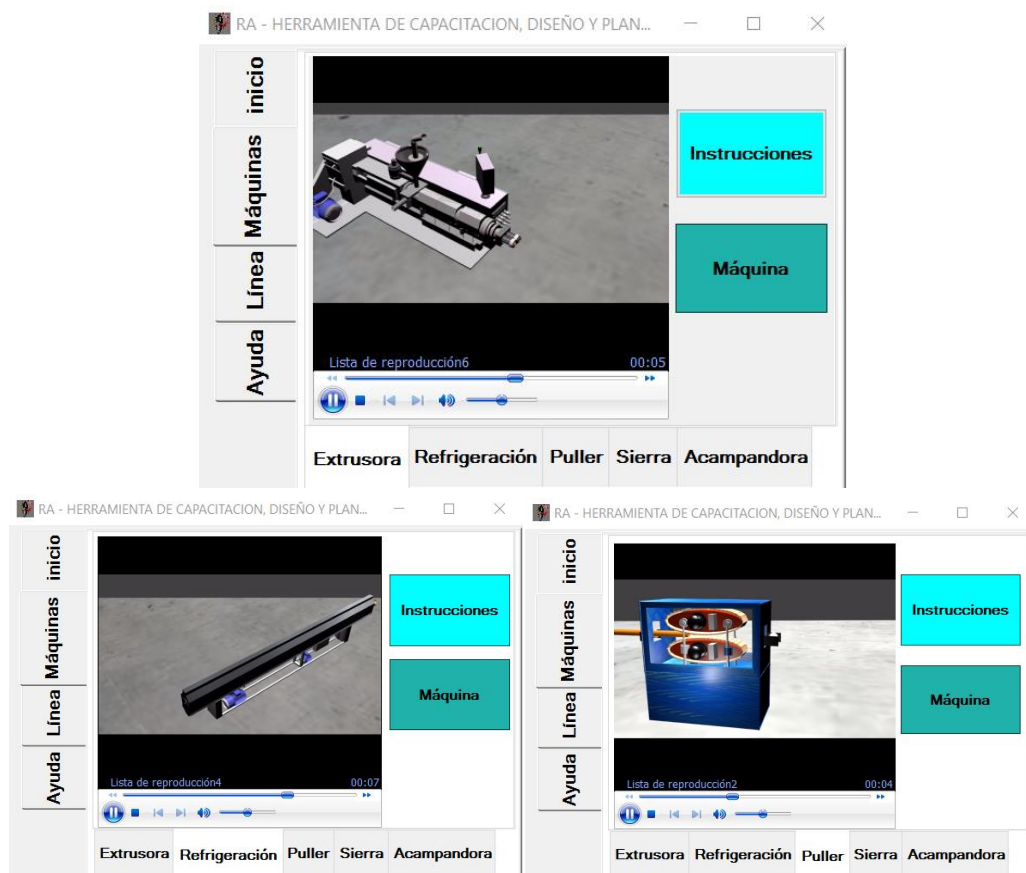


**Fuente.** Propia del autor.

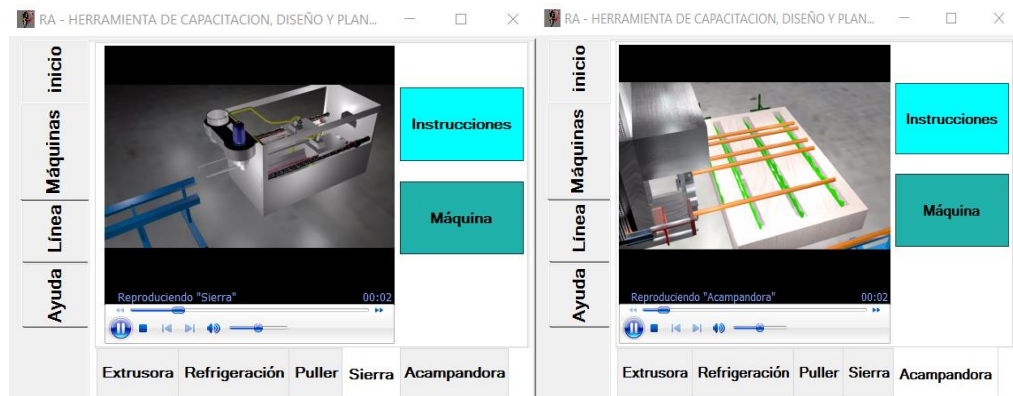
## MÁQUINAS

En el botón *Máquinas*, mostrado en la Figura 4, usted podrá encontrar la lista de artefactos disponibles para ser proyectados sobre determinado espacio de las instalaciones de la planta de producción y poder realizar las modificaciones en una línea de extrusión de tubería PVC por medio del uso de la aplicación de realidad aumentada, así mismo encontrará pantallas de información que le permitirán capacitarse sobre el funcionamiento de cada una de las máquinas y un video en el que podrá observar el proceso de producción de cada una.

**Figura 4. Opción Máquinas**







**Fuente.** Propia del autor.

En la Figura 5 se muestra el botón *Instrucciones*, que contiene información para que usted pueda capacitarse sobre el manejo de la máquina y el botón *Máquina* le mostrará una visualización general de esta.

**Figura 5.** Botones instrucciones y máquina.



**Fuente.** Propia del autor.

## LINEA

En la Figura 6 se muestra la opción Línea, esta pestaña le permitirá visualizar todas las máquinas de una línea de extrusión de PVC junto con video que anima el proceso general de extrusión. Esta opción también incluye funciones de realidad aumentada.

**Figura 6. Opción Línea**

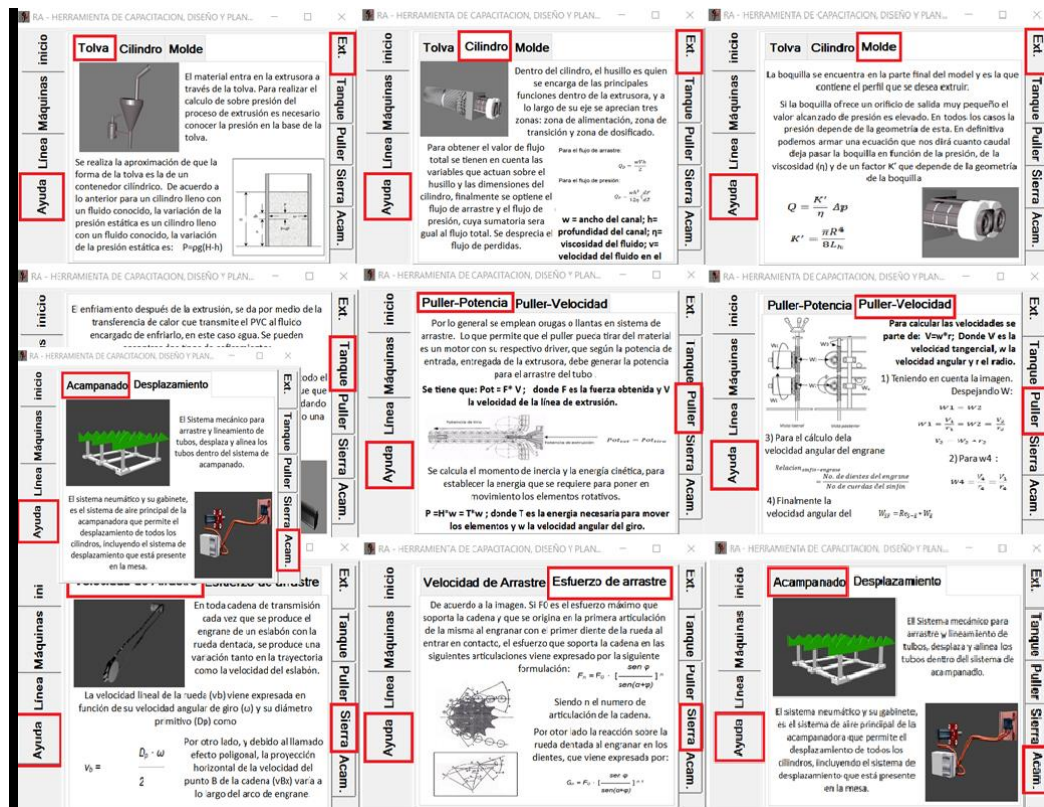


**Fuente.** Propia del autor.

## **AYUDA**

La opción ayuda, mostrada en la Figura 7, contiene la información relacionada al funcionamiento de cada máquina y las precauciones que se deben tener con la misma, para evitar futuros accidentes laborales e inconvenientes en el funcionamiento de la máquina.

Figura 7. Opcion ayuda.

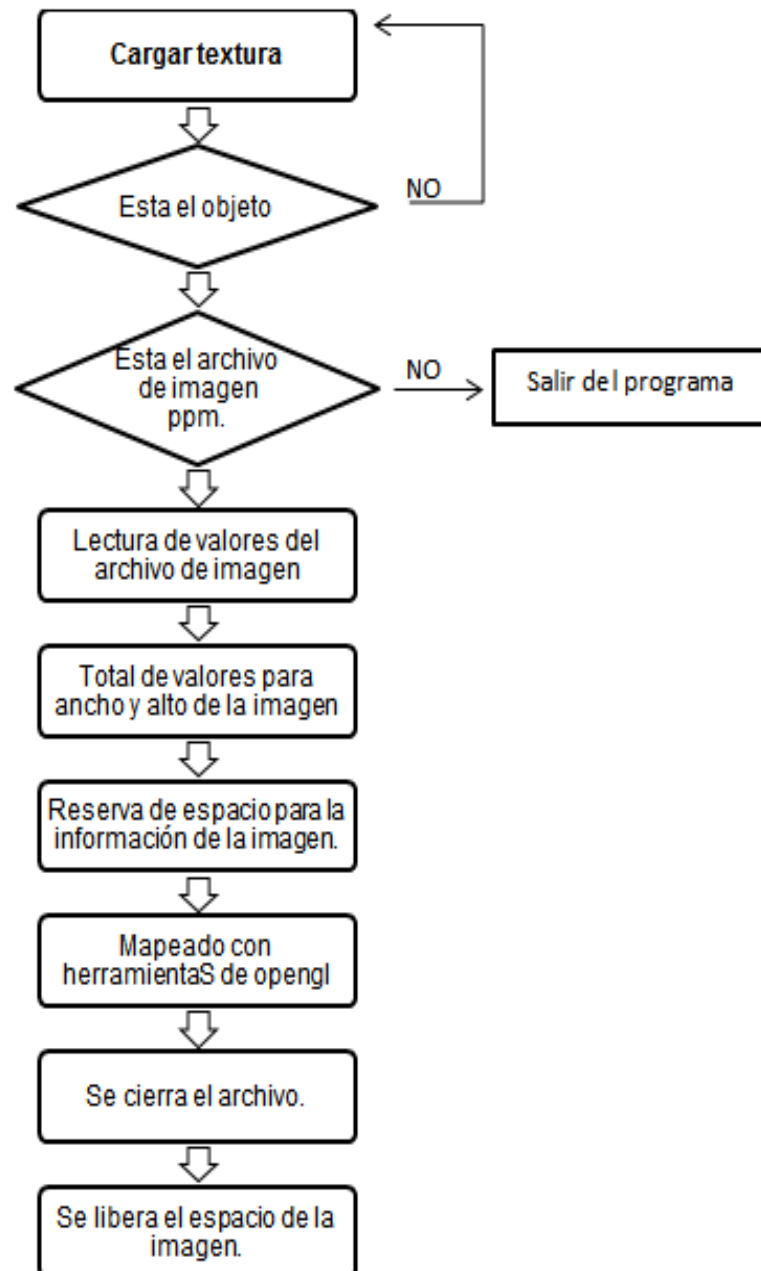


Fuente. Propia del autor.

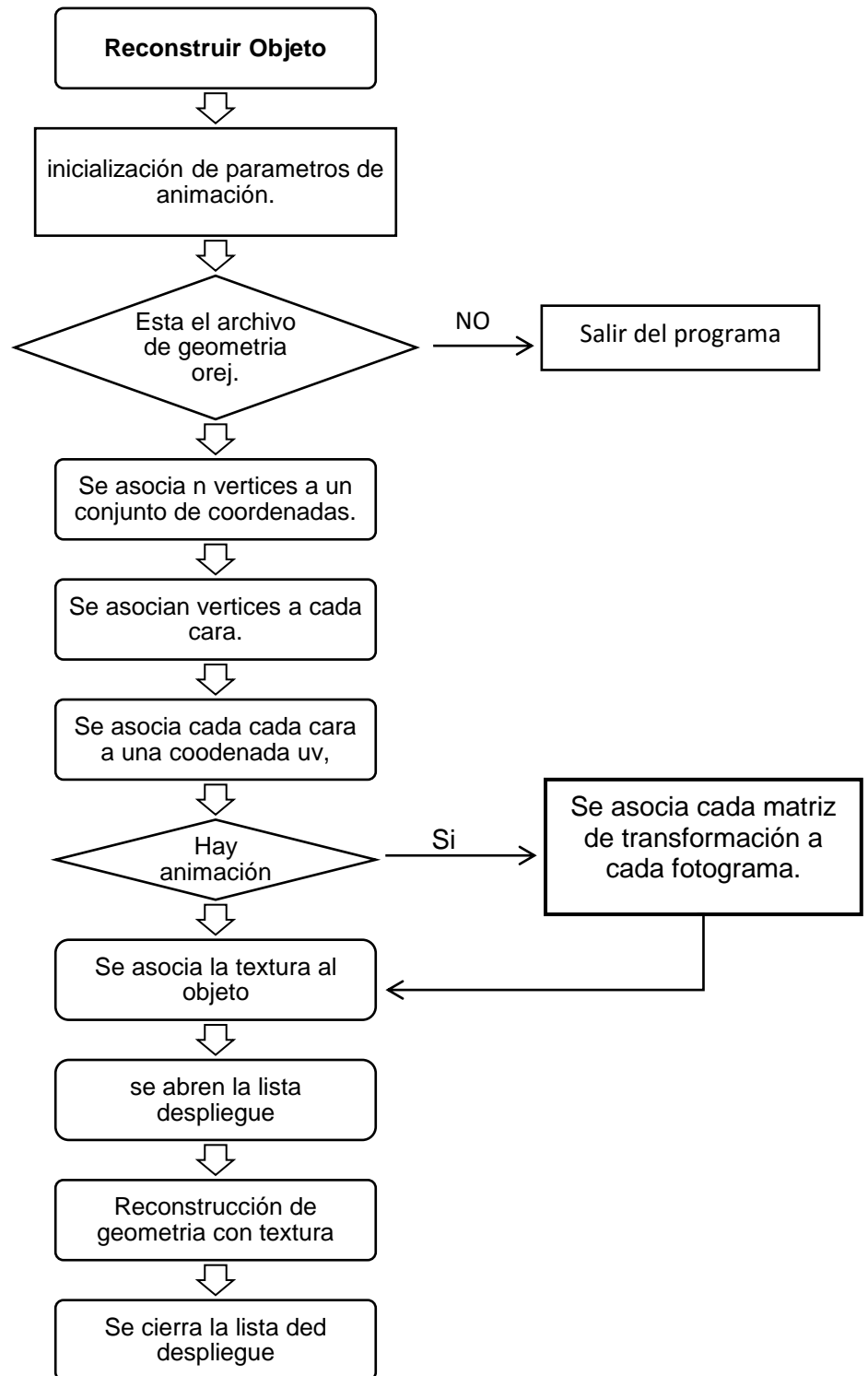
## CASOS DE USO

- Selección de maquinaria.
- Ubicación/reubicación de maquinaria en planta.
- Capacitación de personal para manejo de las máquinas.
- Información sobre el funcionamiento mecánico de la máquina.

## ANEXO C RUTINA CARGAR TEXTURA



## ANEXO D RECONSTRUIR OBJETO



## ANEXO E DESPLEGAR OBJETO

